



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

MIKROKONTROLÉREM ŘÍZENÁ NAVÍJEČKA

SMALL COIL WINDING MACHINE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Kryštof Ihnát

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Zoltán Szabó, Ph.D.

BRNO 2017

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor **Elektronika a sdělovací technika**

Ústav radioelektroniky

Student: Kryštof Ihnát

ID: 173663

Ročník: 3

Akademický rok: 2016/17

NÁZEV TÉMATU:

Mikrokontrolérem řízená navíječka

POKyny PRO VYPRACOVÁNÍ:

Navrhněte a zkonstruujte navíječku pro navíjení cívek malých rozměrů. Přístroj bude ovládán pomocí mikrokontroléru a bude komunikovat skrz LCD display s uživatelem. Rychlost navíjení bude nastaven buď manuálně pomocí nožního spínače nebo automaticky volbou v programu. Navíječka musí zvládnout navinout i cívky tloušťky 1mm, postupně se rozběhnout, zpomalit, zastavit se při dosažení zadaného počtu závitů a automaticky posouvat drát dle parametrů cívky. Přístroj zkonstruujte a správnou funkci ověřte.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

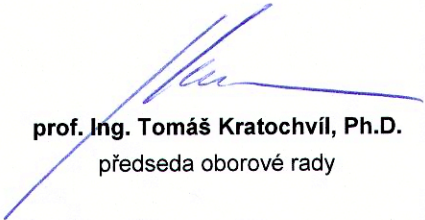
[1] MATOUŠEK, D. Práce s mikrokontroléry ATMEL AVR - ATmega16. 1. vyd. Praha : BEN - technická literatura, 2006. 320 s. ISBN 80-7300-174-8.

Termín zadání: 6. 2. 2017

Termín odevzdání: 30.5.2017

Vedoucí práce: Ing. Zoltán Szabó, Ph.D.

Konzultant:


prof. Ing. Tomáš Kratochvíl, Ph.D.
předseda oborové rady



UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

ABSTRAKT

Tato práce se zabývá návrhem, naprogramováním a konstrukcí navíječky cívek pro školní dílnu. První část obsahuje průzkum trhu navíječek, popis jejich výhod a principu. Kromě nastínění ideální konstrukce se tato část věnuje popisu použitých součástí a periférií, zejména těch nejdůležitějších, tedy krokových motorů.

Poté je věnován prostor funkčnímu vzorku, změnám, které bylo potřeba provést v jeho softwaru a hardwaru a také konstrukci jednotlivých částí navíječky. Na konci je popsána její obsluha.

KLÍČOVÁ SLOVA

Navíječka cívek, Arduino, krokový motor, cívka, driver

ABSTRACT

This work is about designing a small coil winding machine for the school workshop. The first part consists of market research, a comparison of winders, and an explanation as to how they work. It is followed by a short chapter about the inspiration for the design and construction. It also includes the parts that were used as well as peripherals. These include the most important component; stepper motors.

In the next part, the prototype and subsequent revisions are described, as well as the most important parts of the code and construction of the coil winder itself and its parts. In the end, there is a chapter about its operation.

KEYWORDS

Coil winding machine, Arduino, stepper motor, coil, driver

IHNÁT, K. Mikrokontrolérem řízená navíječka. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav radioelektroniky, 2017. 50 s., Bakalářská práce. Vedoucí práce: Ing. Zoltán Szabó, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Mikrokontrolérem řízená navíječka jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne

.....

(podpis autora)

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji zejména vedoucímu Ing. Zoltánovi Szabó, Ph.D. za trpělivou a ochotnou pomoc při konstrukci navíječky. Taktéž děkuji rodičům za pomoc s jazykovou úpravou této práce.

OBSAH

Seznam obrázků	9
Seznam tabulek	10
Úvod	1
1 Přehled navíječek	2
1.1 Nabídka na trhu	2
2 Návrh konstrukce vlastní navíječky	7
3 Použitý hardware ve funkčním vzorku	9
3.1 Krokové motory	9
3.1.1 Historie.....	9
3.1.2 Krokový motor obecně a jeho funkce.....	9
3.1.3 Krokový motor s pasivním rotorem.....	10
3.1.4 Krokový motor s aktivním rotorem	12
3.1.5 Hybridní krokový motor	13
3.1.6 Řízení krokového motoru	13
3.1.7 Unipolární čtyřtaktí řízení s magnetizací jedné fáze	14
3.1.8 Unipolární čtyřtaktí řízení s magnetizací dvou fází.....	14
3.1.9 Osmitaktní unipolární řízení	14
3.1.10 Bipolární čtyřtaktí řízení s magnetizací jedné fáze.....	15
3.1.11 Bipolární čtyřtaktí řízení s magnetizací dvou fází.....	15
3.1.12 Bipolární řízení osmitaktní	15
3.2 Arduino	16
3.2.1 Arduino MEGA	16
3.3 LCD Shield	17
3.4 Klávesnice.....	18
4 Funkční vzorek	19
4.1 Hlavní funkce.....	19

5	Upravený funkční vzorek	21
5.1	Změny v hardware	21
5.2	Kód.....	22
5.2.1	Řízení krokových motorů	22
5.2.2	Hlavní algoritmus	23
6	Navíječka	26
6.1	Konstrukce	26
6.1.1	Kostra navíječky	26
6.1.2	Jednotlivé části navíječky	28
6.2	Změny v hardware pro navíječku	31
6.2.1	Optozávory.....	31
6.2.2	Tlačítka na LCD Shieldu	32
6.2.3	Napájecí zdroj	32
6.3	Kód navíječky	32
6.3.1	Hlavní algoritmus navíjení.....	33
6.3.2	Komunikace mezi Arduiny	34
6.3.3	Nastavení šířky jádra	36
6.3.4	Přerušení	36
6.4	Ovládání navíječky	37
7	Závěr	38
	Literatura	39
	Seznam veličin, symbolů a zkratk	43
A	Fotografie a 3D model navíječky	44
B	Deska plošných spojů s dvr8825	46
B.1	Schéma.....	46
B.2	Deska plošného spoje s dvr8825 –(strana součástek), mirrored, 1:1.....	48
B.3	Deska plošného spoje s dvr8825 – osazovací plán drátových součástek	48
	Seznam součástek	50

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 1 Manuální navíječka cívek.	2
Obr. 1.1 1 Navíječka cívek DS-200A	3
Obr. 1.1 2 Navíječka cívek WH-800.....	4
Obr. 1.1 3 Navíječka cívek WH-751.....	4
Obr. 1.1 4 Coil Winding machine mk1.2.....	5
Obr. 1.1 5 200mm Coil Winder	5
Obr. 1.1 6 Doma vytvořená navíječka.....	6
Obr.2 1 Blokové schéma navíječky.....	7
Obr 1.2 2 Konstrukce navíječky cívek.....	8
Obr. 3.1.2 1 Princip krokového motoru.....	10
Obr. 3.1.3 1 Krokový motor s pasivním rotorem.....	11
Obr. 3.1.4 1 Krokový motor s aktivním rotorem.....	12
Obr. 3.1.5 1 Hybridní krokový motor.....	13
Obr. 3.2 1 Arduino MEGA.....	17
Obr. 3.3 1 LCD Shield.....	17
Obr. 3.4 1 Membránová klávesnice.....	18
Obr. 5.1 1 Fotografie upraveného funkčního vzorku.....	22
Obr. 6.1.1 1 Průřez použitým profilem.....	26
Obr. 6.1.1 2 Connector o rozměru 3x3 cm.....	27
Obr. 6.1.1 3 Connector o rozměru 3x3 cm.....	27
Obr. 6.1.2 1 3D model konstrukce navíječky.....	28
Obr. 6.1.2 2 Detail uchycení otáčecího krok. motoru.....	29
Obr. 6.1.2 3 Detail teflonového kužele a cívky.....	29
Obr. 6.1.2 4 Detail uchycení sklíčidla.....	30
Obr. 6.1.2 4 Detail napínání drátu.....	31
Obr. 6.2.1 1 Zapojení optozávory č.1.....	32
Obr. 6.2.1 2 Zapojení optozávory č.2.....	32
Obr. 6.3.2 1 Rámec 7E2.....	35

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Unipolární čtyřtakové řízení s magnetizací jedné fáze.....	14
Tabulka 2: Unipolární čtyřtakové řízení s magnetickou fází.....	14
Tabulka 3: Unipolární osmitakové řízení	15
Tabulka 4: Bipolární čtyřtakové řízení	15
Tabulka 5: Bipolární čtyřtakové řízení s magnetizací dvou fází	15
Tabulka 6: Bipolární osmitakové řízení.....	15

ÚVOD

Cívek je na trhu nepřeberné množství. Jsou jich dostupné tisíce typů, které dokážou velmi často splnit veškeré naše požadavky ohledně počtu závitů, indukčnosti, maximálního přípustného proudu, materiálu jádra atd. Nicméně může nastat chvíle, kdy jsou naše požadavky natolik specifické, že sériově vyráběné cívky je nemohou uspokojit, takže je nutno vyrobit si cívku vlastní. Někdy je to lehký úkol, kdy stačí vzít vhodné jádro, navinout na něj pár centimetrů drátu a cívka je hotova. Avšak co v případě, že počet závitů je příliš velký na to, abychom cívku navíjeli ručně. Pak je vhodné použít navíječku cívek, která tuto těžkou práci udělá za nás.

Cílem této práce je navrhnout a zkonstruovat navíječku plně automatickou, u které uživatel pouze zadá šířku drátu, šířku jádra cívky a počet závitů, a navíječka provede navíjení bez jeho dalšího zásahu. Tento text popisuje dosažené výsledky, jak v oblasti konstrukce, tak v oblasti programování. Rovněž zmiňuje problémy, které bylo potřeba vyřešit na cestě k zadanému cíli, například příliš slabé krokové motorky, problémy s rychlostí zápisu dat na LCD atd. V závěru je popsáno ovládání navíječky.

1 PŘEHLED NAVÍJEČEK

Existuje velké množství navíječek cívek různých schopností, kvality a ceny. Lze je rozdělit do dvou hlavních kategorií: navíječky (i částečně) manuální a navíječky plně automatické. Jak již bylo řečeno, cílem této práce je navrhnout navíječku plně automatickou. Jediná činnost, kterou tedy uživatel bude muset vyvinout, je její správné nastavení a příprava na práci. Níže na Obr.1 1 je zobrazena manuální navíječka, pojmenovaná jako NZ-1.

Požadované parametry vlastní navíječky jsou: schopnost navinout drát o maximální šířce 0,6mm, posouvat drát a dosahovat aspoň 180 otáček za minutu.



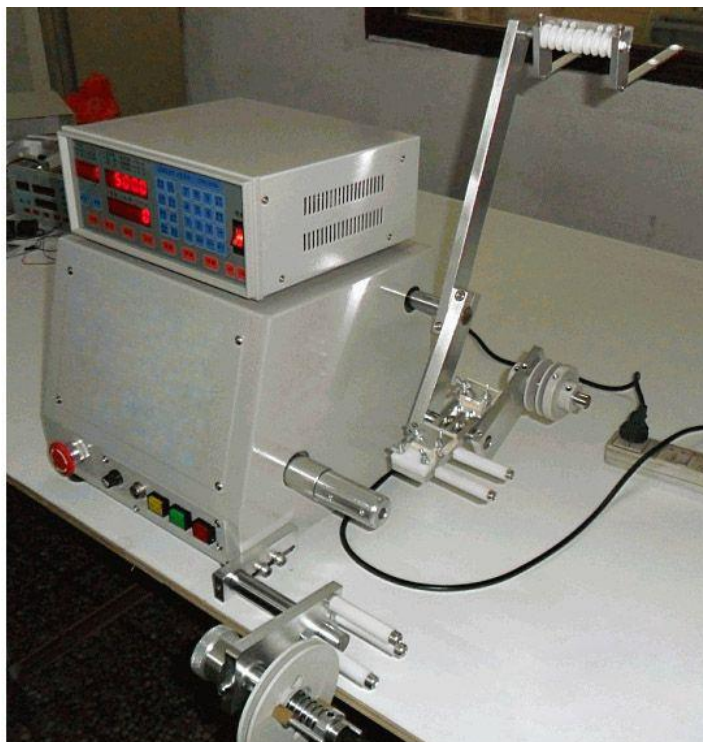
Obr.1 1 Manuální navíječka cívek Převzato z [31]

1.1 Nabídka na trhu

Výrobci většiny navíječek pocházejí z Číny. Mnohé z nich nelze zakoupit jednotlivě, ale pouze v sérii. Nejvíce jich inzeruje na portálech Alibaba a Aliexpress. Často chybí základní technické údaje i cena a je nutno kontaktovat prodejce pro upřesnění. Jeden z problémů je, že většina dostupných navíječek nesplňuje zadané parametry a jsou příliš velké a zbytečně komplikované. Zařízení, která by se svými specifikacemi blížila požadovaným v zadání, jsou v menšině.

Jeden z čínských výrobců s větším a dobře dokumentovaným sortimentem je firma Kingsing. Nabízí velký počet navíječek cívek různých parametrů, nevýhoda ovšem je ta, že i po zaregistrování neposkytovali žádné cenové rozpětí. Navíječka z jejich nejnižší série s názvem KS-W22 umožňuje navinovat drát šířky až 1,6mm a je schopna navinovat cívku až do průměru 110mm a šířce 100mm. Dosahuje až 3000 otáček za minutu. Navíjecí motor je stejnosměrný a posunovací krokový.

Další firma, která se věnuje navíječkám cívek, je JoyFair International.. Má poměrně zajímavý sortiment, ze kterého upoutá zejména navíječka DS-200A [1] Jedná se o plně automatický výrobek s cenou ve slevě 520\$. Umožňuje navinovat drát šířky 0,04mm až 1,6mm a dosahuje až 6000 otáček za minutu. Maximální šířka jádra cívky je zase 100mm, stejně jako v předcházejícím případě. Níže na obr.1.1 1 je její fotografie.



Obr. 1.1 1 Navíječka cívek DS-200A. Převzato z [32]

Dále byla k inspiraci použita navíječka cívek od firmy Ingrid West Machinery, sídlící ve Velké Británii, s označením WH-800. Maximální šířka drátu je 1 mm a maximální rychlost je 6000 otáček za minutu, případně 3000 otáček za minutu u nízkorychlostní verze. [2] [3]. Její foto se nalézá na obrázku 1.1 2. Další navíječkou s podobnými parametry je WH-751, která existuje v několika úpravách. Je to velmi lehce modifikovatelný stroj, u kterého je zejména zajímavé uchycení navíjeného jádra cívky ze dvou stran. [4]



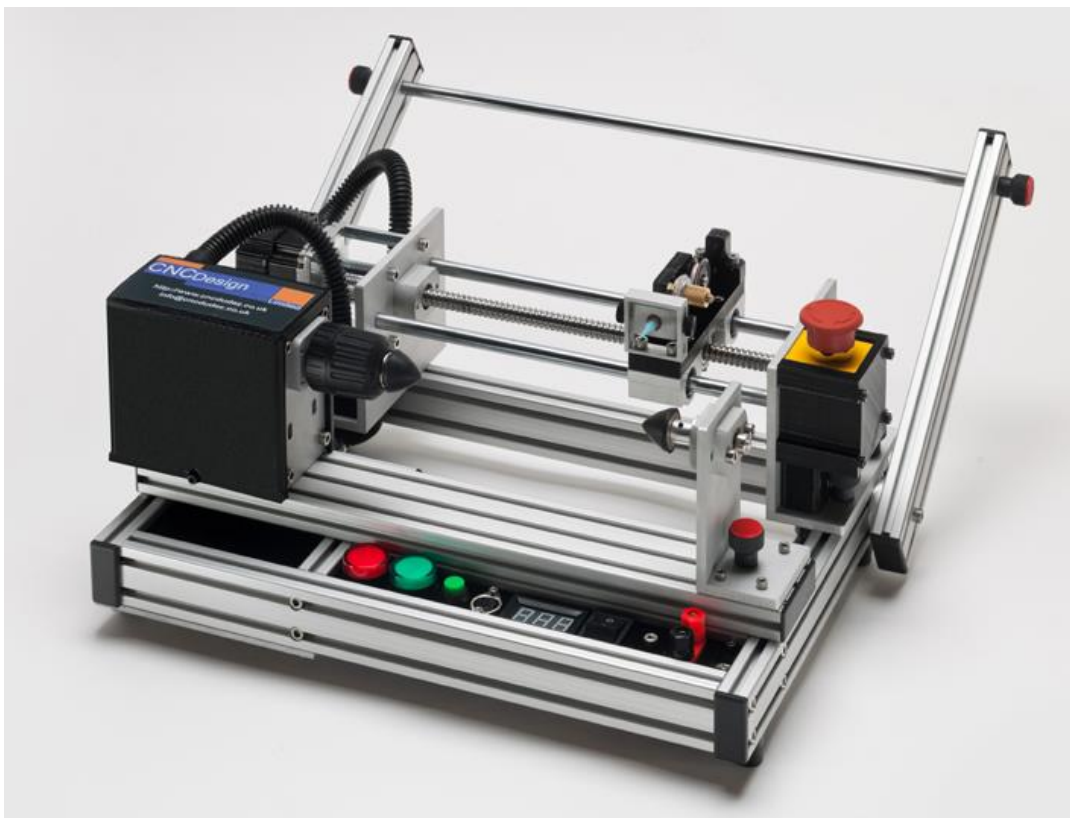
Obr. 1.1 2 Navíječka cívek WH-800. Převzato z [33]



Obr. 1.1 3 Navíječka cívek WH-751. Převzato z [34]

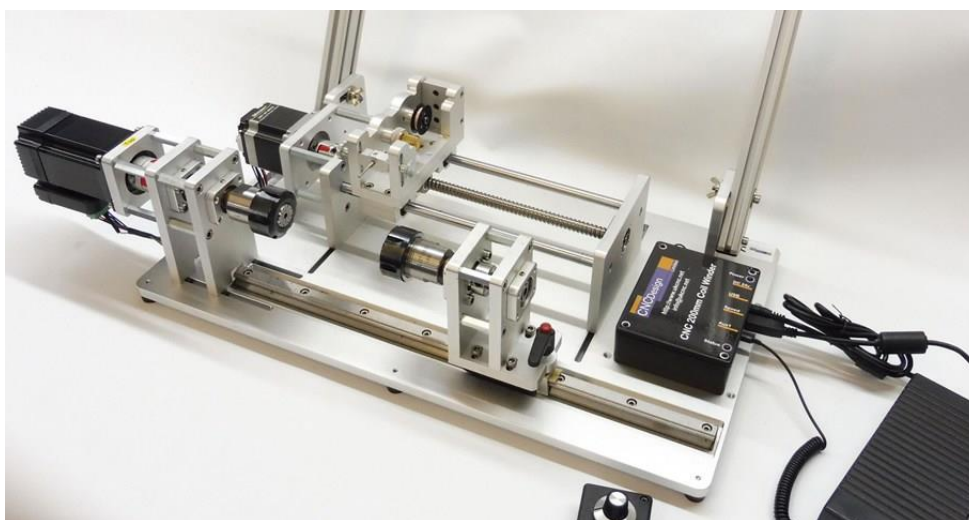
Ze zástupců jednodušších navíječek více se blížících požadovaným specifikacím (a výsledná vlastní konstrukce jí bude podobná) je nutno zmínit zejména navíječky Coil Winding Machine MK1.2 a 200mm Coil Winder od britské firmy CNC Design.

Coil Winding Machine MK1.2 je starší verzi a je dnes již obtížně sehnatelná. K navíjení používá DC motor a k posouvání drátu motor krokový. Navinovaná cívka může být až 160mm dlouhá a jádro může mít až 160mm v průměru. Je řízena pomocí PC, které se připojuje přes USB port. [4] Její fotografie je níže na obrázku 1.1. 5



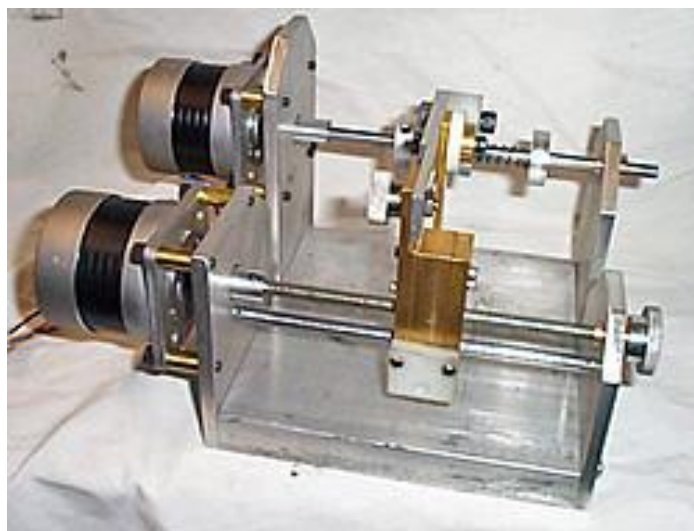
Obr. 1.1 4 Coil Winding machine mk1.2 Převzato z [35]

Navíječka 200mm Coil Winder je modernější, dodnes produkovanou verzí. Největší rozdíl je ten, že jako navíjecí motor je použit krokový místo stejnosměrného. Maximální šířka navinované cívky může být 200mm, jak ostatně napovídá název, a průměr jádra 150mm. [5] Jedná o navíječku, která byla použita jako hlavní zdroj inspirace při návrhu vlastního zařízení. Nachází se na obrázku 1.1 5.



Obr. 1.1 5 200mm Coil Winder Převzato z [36]

Existuje také mnoho lidí, kteří si podobné zařízení navrhli a sestavili doma. Z pochopitelných důvodů jsou jejich parametry většinou neznámé. Jedna z těchto navíječek je na (Obr. 1.1 6). Jsou na ní dobře patrné dva krokové motory, jeden určený k navíjení, druhý k posunování drátu.

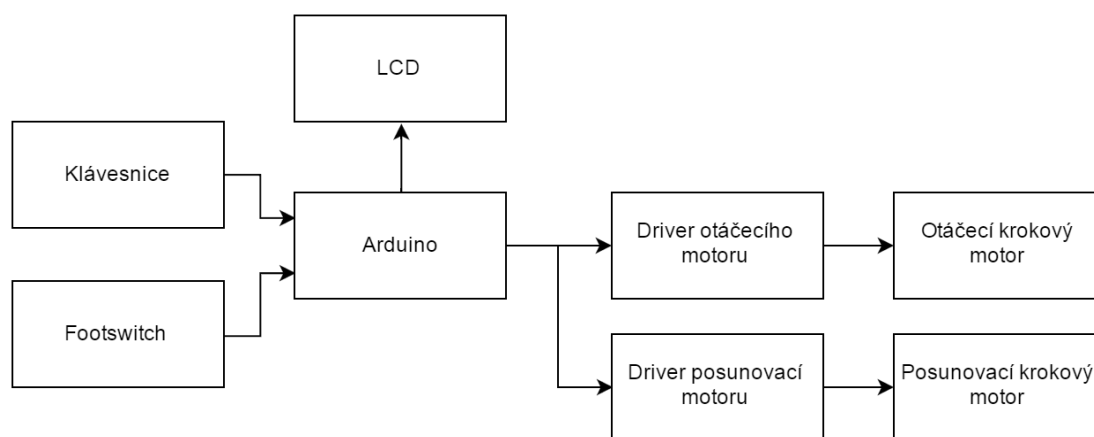


Obr. 1.1 6 Doma vytvořená navíječka. Převzato z [37]

2 NÁVRH KONSTRUKCE VLASTNÍ NAVÍJEČKY

V této práci navrhovaná navíječka se od většiny výše zmiňovaných profesionálních řešení liší zejména ve výkonu: jsou požadovány nižší otáčky, nižší moment motoru a menší rozměry cívky a menší tloušťka navíjeného drátu, nejčastěji v rozmezí 0,1 až 0,5mm. Rovněž se počítá s tím, že cívky budou mít až několik tisíc závitů.

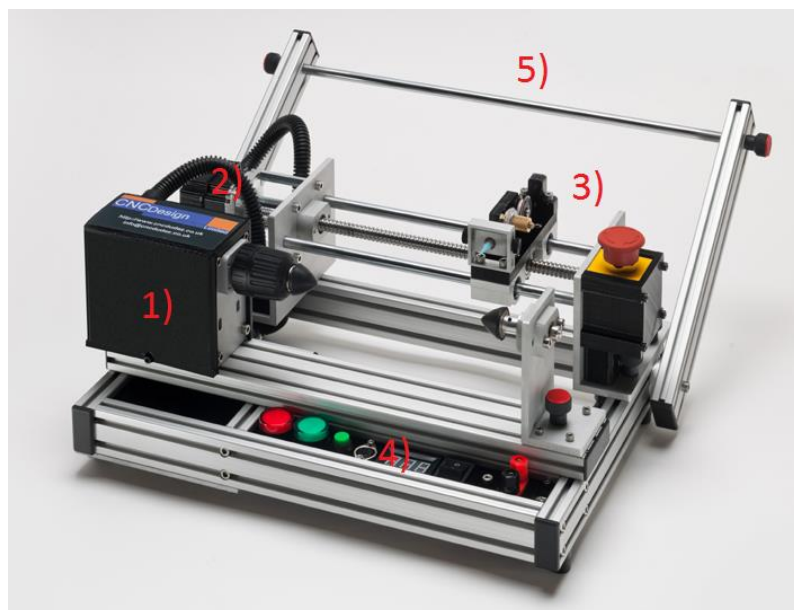
Při návrhu konstrukce byla brána inspirace z posledních tří modelů popsanych výše. Navržené blokové schéma zařízení je na obr.2 1. Schéma prošlo v poslední části návrhu několika změnami, které budou zmíněny v kapitole 6.



Obr.2 1 Blokové schéma funkčního vzorku navíječky.

Navíječka musí být schopna drát navíjet a posunovat pomocí dvou krokových motorů. Dále má vstup dat z klávesnice a rovněž musí umožnit otáčení pomocí footswitche. S uživatelem bude komunikovat pomocí LCD.

Na obrázcích č. 1.2 2 a 1.3 je rozebrána konstrukce navrhované navíječky cívek na navíječce Coil Winding Machine mk1.2, ze které je brána inspirace.



Obr 2 2 Konstrukce navíječky cívek. Převzato z [38]

- 1) Navíjecí motor. V případě navíječky na fotografii je stejnosměrný, u vlastní konstrukce bude krokový.
- 2) Posunovací motor zajišťuje rozprostírání drátu na cívce.
- 3) U této navíječky představuje část, která drát nejen posunuje, ale také narovná. V této práci realizované navíječce byla tato část vyřešena jinak.
- 4) Ovládací elektronika a display.
- 5) Držák navíjeného drátu: na tuto tyč se umístí cívka, ze které se bude odebírat navíjený drát.

3 POUŽITÝ HARDWARE VE FUNKČNÍM VZORKU

3.1 Krokové motory

Nejdůležitější částí navíječky je samotný krokový motor, který bude otáčet jádrem cívky, která bude navíjena. Je jasné, že na výkon této součástky budou kladeny nejvyšší nároky, proto bylo potřeba vybrat dostatečně silný motor. Toto bohužel u funkčního vzorku splněno nebylo, proto musel být změněn, jak je popsáno v jedné z dalších kapitol.

Experimentálně bylo zjištěno, že drát šířky 0,6mm (což bylo zvolena jako maximální hodnota) je na cívce o průměru 6 cm narovnaný závažím o váze 1,6kg, což dává výsledný potřebný moment přibližně 1,6Nm, podle vzorce (1) [6].

$$M = F \cdot r \quad (1)$$

Kdy M je moment síly, F je působící síla a r je poloměr jádra cívky.

Proto byl zvolen krokový motor o síle 1,89Nm, který by měl být dostatečně silný. Taktéž se nepočítá s navinováním cívek takovýchto rozměrů pravidelně, průměr jádra cívky se bude pohybovat obvykle mezi 1 až 3 cm. Ohledně druhého motoru nebyly provedeny žádné výpočty.

3.1.1 Historie

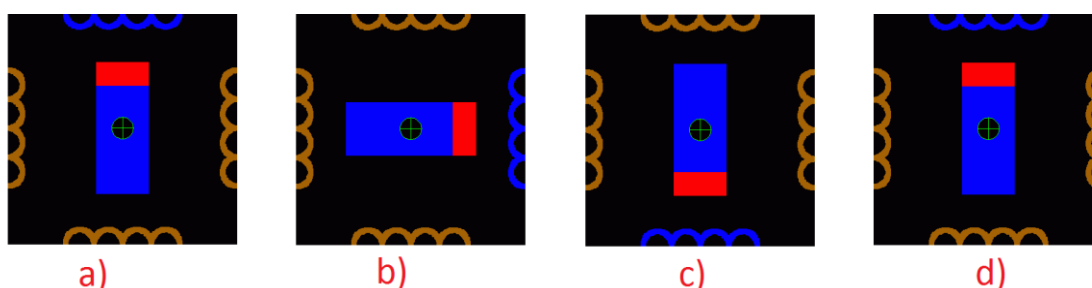
Historie krokového motoru se začala psát v roce 1919, kdy byl ve Velké Británii a později v USA udělen 1. patent. Za zmínku stojí jeho využití v britské armádě, a to jako součást dálkového navádění torpéd. Tuto myšlenku rychle převzalo americké námořnictvo a začalo používat krokové motory ke stejným či podobným účelům.

Ke všeobecnému rozšíření došlo až v 60. letech, a to v přesných polohovacích mechanismech, velkokapacitních diskových pamětech, pohonech tiskáren a dalších zařízeních. Jejich další rozmach souvisí s postupem v oblasti vývoje mikroprocesorové techniky, zvláště s firmou INTEL, která v roce 1971 vyvinula svůj první čtyřbitový mikroprocesor 4004, který obsahoval 46 instrukcí. [7]

3.1.2 Krokový motor obecně a jeho funkce

Krokový motor je součástka, která je schopna přesně nastavit svou polohu a tu si poté udržet. Má široké spektrum použití (CNC stroje, tiskárny, robotika, letecký průmysl, automobilový průmysl atd.) a je poměrně jednoduché jej řídit: není potřeba žádný komplexní kontrolér a pokud je motor použit korektně, tak není nutno mít složitý systém zpětné vazby, postačí totiž pouze počítat počet kroků.

Princip funkce je následující: motor se skládá z rotoru a statoru. Cívkou statoru prochází proud, který poté vytvoří magnetické pole, které následně přitáhne opačný pól rotoru. Postupným zapojováním cívek ve vhodném pořadí se vytvoří rotující magnetické pole, které způsobí otáčení rotoru. Existuje několik typů krokových motorů s různým řízením, které jsou rozepsány níže. Pro ilustrování funkce krokového motoru slouží obrázek 3.1.2. Na něm lze vidět postupné buzení jednotlivých cívek a přitahování rotoru. Momentálně protékanou proudem představuje modrá barva. Nejprve tedy můžeme vidět, že je buzena cívka úplně nahoře (viz 3.1.2a) a přitahuje opačný pól rotoru. Následně vybudíme cívku vpravo, takže opačný pól magnetu je přitážen k ní (viz obr. 3.1.2b). Toto se opakuje s cívkami dole a vlevo, takže po 4. iteraci se nachází rotor ve stejné poloze, jako byl na začátku. Tento hypotetický krokový motor by tedy měl krok 90° . Konstrukce reálných krokových motorů je samozřejmě poněkud odlišná [8]



Obr. 3.1.2 1 Princip krokového motoru. Převzato z [39]

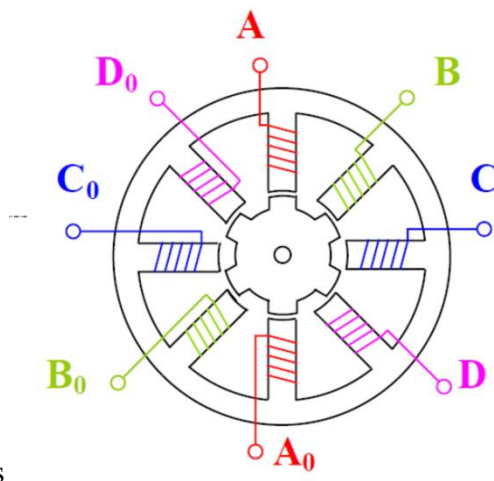
Krokové motory se dělí podle konstrukce na několik typů:

- Krokové motory s pasivním rotorem. Můžeme je také nalézt pod označením reakční nebo reluktanční. Mají vyjádřené póly na statoru i rotoru a ke své funkci využívají rozdílné magnetické vodivosti (reluktance) v příčné i podélné ose. Nutností je rozdílný počet pólů statoru a rotoru.
- Krokové motory s aktivním rotorem. Jsou specifické v tom, že jejich rotor je tvořen permanentním magnetem. Existují dva typy, s radiálně polarizovaným a axiálně polarizovaným permanentním magnetem. Je jim vlastní rozdílný počet pólů statoru i rotoru.
- Krokové motory hybridní, které kombinují konstrukci obou předchozích typů. V dnešní době zřejmě nejčastěji používaný typ konstrukce [7][9].

3.1.3 Krokový motor s pasivním rotorem

Motor tohoto typu je zobrazen v řezu na obrázku 3.1.3 1. Jak lze vidět, na statoru se nachází 8 zubů, na nichž jsou umístěny cívky vinutí. Dvojice cívek navinuté na zubech proti sobě vždy tvoří jednu fázi. Celkem se na statoru nachází 4 fáze, označované písmeny abecedy A,B,C,D. Co se týče rotoru, ten má pouze 6 zubů (pólových nástavců) (jak zní podmínka funkce) a nemá žádné vinutí. Většinou je vyroben z jednoho kusu oceli nebo ze svazku plechů a má na sobě několik zubů, které mají stejnou šířku jako zuby nacházející se na statoru. Mezi rotorem a statorem je minimální vzduchová

mezera, většinou v intervalu 0,02mm až 0,2mm [7] [9]. Princip funkce je tedy následující: postupně jsou buzeny jednotlivé cívky (respektive jejich dvojice, jedná se o motor s bipolárním buzením) a výsledek je ten, že se postupně otáčí rotor. Pokud uvažujeme, že je nejdříve buzena cívka A(a A0) a následně B(a B0), tak se rotor postupně otáčí proti směru hodinových ručiček.



s

Obrázek 3.1.3 1 Krokový motor s pasivním rotorem. Převzato z literatury [11].

Velikost kroku, o který se otočí krokový motor lze jednoduše vypočítat pomocí tohoto vzorce [7]

$$\alpha = \frac{360}{m * N} \quad [^\circ] \quad (3.1.3 \text{ 1R})$$

Kdy α je velikost kroku, m je počet fází vinutí statoru a N je počet zubů rotoru. V případě tohoto motoru je tedy $m=4$ a $N=6$. Výsledný krok je 15° .

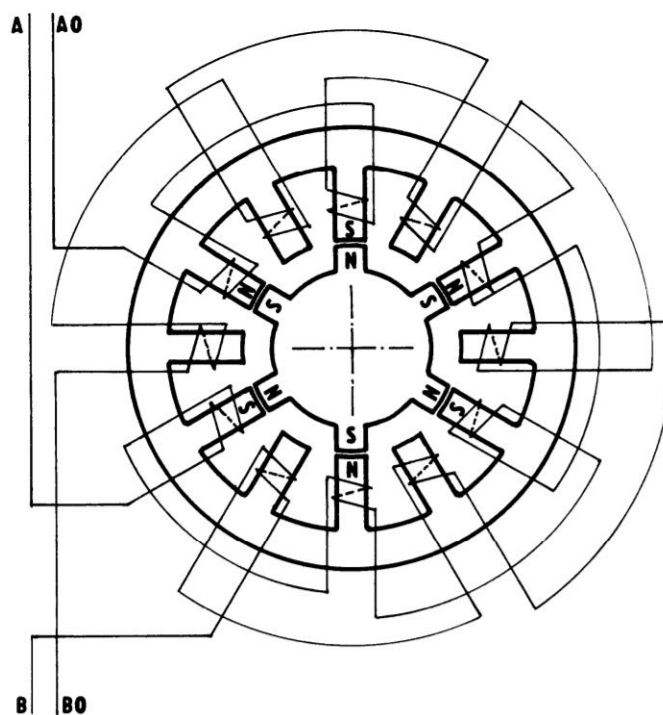
Tento motor má v poměru ke své velikosti a hmotnosti ne příliš velký točivý moment a je použitelný pouze pro aplikace, u kterých není nutná velká přesnost krokování. Vzhledem ke své konstrukci po odpojení napětí neudrží při působení větší síly svou polohu a např. při protáčení rukou nejsou cítit jednotlivé kroky. [10]

3.1.4 Krokový motor s aktivním rotorem

Jedná se o krokový motor, kdy rotor je tvořen různě uspořádanými permanentními magnety. Princip pohybu je tedy založen na působení magnetických sil. Výhody jsou následující:

- Větší krouticí moment než motor s pasivním rotorem.
- Potřeba mnohem větší síly pro pootočení rotoru než u motoru s pasivním rotorem. Permanentní magnety totiž vytváří klidový moment.

Motor, který je vyobrazen na obrázku 3.1.4 1 je nutno budit bipolárně, protože je nutno měnit magnetickou polaritu pólů statoru. Nejprve je buzena fáze A, takže liché zuby vytvoří severní magnetický pól a sudé zuby vytvoří pól jižní. Rotor se tedy natočí tak, aby jeho póly byly naproti opačným pólům na statoru. Následně je nutno vybudit fázi B, takže se zase vytvoří na lichých zubech severní póly a na sudých jižní. Tímto bylo docíleno 2 kroků. Následně je nutno znovu budit fázi A, ale napětím s opačnou polaritou, takže při 3. kroku se na lichých zubech fáze A vytvoří jižní magnetický pól a na sudých severní. Pak pokračuje buzení fáze B, znovu s otočenou polaritou, tím rotor udělá 4. krok a následuje zase otočení polarity napětí a krok č.1. [11]

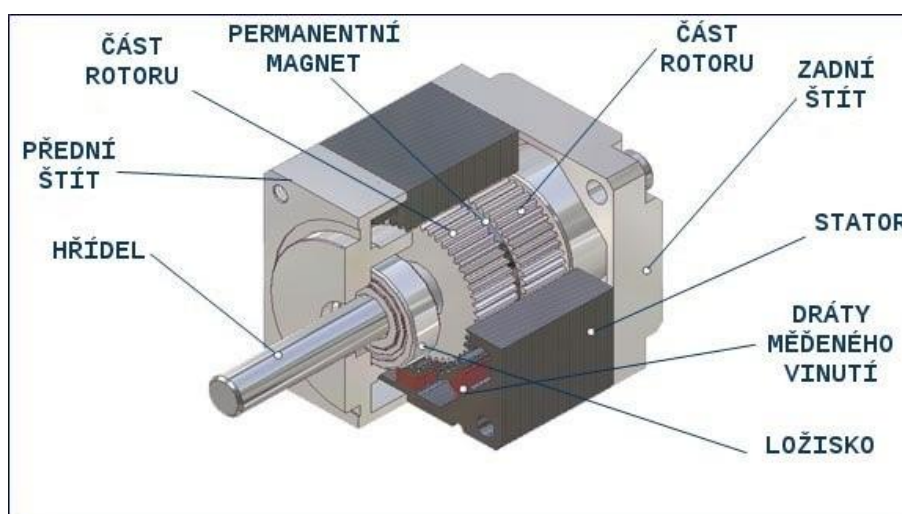


Obrázek 3.1.4 1 Krokový motor s aktivním rotorem. Převzato z literatury [11]

3.1.5 Hybridní krokový motor

Jedná se o typ motoru, jehož konstrukce v sobě spojuje oba předchozí typy motorů. V dnešní době se jedná o pravděpodobně nejpoužívanější typ krokového motoru.

Jeho konstrukce je následující: na hřídeli z nemagnetického materiálu jsou nalisovány dva pólové nástavce složené z plechů, a každý z nich má na sobě většinou 50 zubů. Důležité je, že tyto nástavce jsou oproti sobě o polovinu posunuté, takže zub jednoho nástavce míří do mezery druhého. Mezi těmito nástavci je uložen axiálně polarizovaný permanentní magnet, takže každý nástavec má jiný pól. Stator se skládá z několika (v našem případě 8) pólových nástavců, z nichž každý je rozdělen na několik zubů. Motory tohoto typu byly použity v bakalářské práci. Konstrukce je na obrázku 3.1.5 1 [7] [9] [11]



Obrázek 3.1.5 1 Hybridní krokový motor. Převzato z [40].

Princip činnosti je podobný jako u motoru s aktivním rotorem, když k motoru není připojeno žádné napájení, tak motor má pouze klidový moment tvořen magnetickým tokem permanentního magnetu. [7]

3.1.6 Řízení krokového motoru

Jak již bylo řečeno, aby se krokový motor točil, je nutno u něho zajistit správné buzení. To má podobu spínání fázových proudů ve správném pořadí, nazývané řízení.

Existují 2 typy řízení, unipolární a bipolární. Unipolární znamená, že proud protéká fázemi pouze jedním směrem. má tu výhodu, že je k němu potřeba méně řídicí elektroniky. Postačí k tomu v podstatě 4 tranzistory (1 na fázi). Také je výhoda, že motor má menší spotřebu než zapojení bipolární. Nevýhodou je, že krouťací moment motoru je nižší.

Bipolární řízení znamená, že proud cívkou teče 2 směry. Je tedy nutno mít složitější řídicí elektroniku, na každou fázi se použije H-můstek. Výhodou je větší

kroutící moment, nevýhodami již zmíněná složitější elektronika a vyšší odběr proudu.

Veškeré informace do této kapitoly jsou z [7][8][11].

3.1.7 Unipolární čtyřtaktní řízení s magnetizací jedné fáze

Jedná se o nejjednodušší způsob řízení. Lze ho použít u čtyřfázového krokového motoru s pasivním rotorem nebo u dvoufázového hybridního krokového motoru s unipolárním buzením. Znamená to, že v jednom okamžiku prochází proud pouze jednou fází. Rotor se tedy natočí opačným pólem k ní – udělá krok. Pak začne proud procházet fází č.2 a rotor je zase přitáhnut k ní. Následující tabulka popisuje princip řízení: + znamená kladnou polaritu, - zápornou polaritu, 0 znamená žádný protékající proud. Jednotlivé fáze jsou označeny písmeny abecedy. [7][8][11].

Tabulka 1: Unipolární čtyřtaktní řízení s magnetizací jedné fáze

Krok	1	2	3	4
A	+	0	0	0
B	0	+	0	0
C	0	0	+	0
D	0	0	0	+

3.1.8 Unipolární čtyřtaktní řízení s magnetizací dvou fází

Tento typ řízení je podobný předchozímu způsobu, nicméně v jedné chvíli prochází proud dvěma fázemi najednou. Motor pak má vyšší statický moment, ale taktéž vyšší spotřebu. [7][8][11].

Tabulka 2: Unipolární čtyřtaktní řízení s magnetickou fází

Krok	1	2	3	4
A	+	0	0	+
B	+	+	0	0
C	0	+	+	0
D	0	0	+	+

3.1.9 Osmitakní unipolární řízení

Při tomto řízení má motor dvakrát jemnější krok a větší moment, nicméně je to znova vykoupeno vyšší spotřebou motoru a moment kolísá. Jedná se o typ řízení, které je použito při řízení krokových motorů v prototypovém zapojení. [7][8][11].

Tabulka 3: Unipolární osmitaktní řízení

Krok	1	2	3	4	5	6	7	8
A	+	+	0	0	0	0	0	+
B	0	+	+	+	0	0	0	0
C	0	0	0	+	+	+	0	0
D	0	0	0	0	0	+	+	+

3.1.10 Bipolární čtyřtaktní řízení s magnetizací jedné fáze

Pokud je motor řízen tímto typem řízení, tak proud vždy protéká pouze jednou fází a pak druhou, následně zase první a pak druhou, ovšem s opačnou polaritou. [7][8][11].

Tabulka 4: Bipolární čtyřtaktní řízení

Krok	1	2	3	4
A	+	-	-	+
B	+	+	-	-

3.1.11 Bipolární čtyřtaktní řízení s magnetizací dvou fází

Při tomto typu řízení jsou aktivní obě fáze motoru. Díky tomu má větší statický moment, ale zase taktéž vyšší spotřebu. [7][8][11].

Tabulka 5: Bipolární čtyřtaktní řízení s magnetizací dvou fází

Krok	1	2	3	4
A	+	0	-	0
B	0	+	0	-

3.1.12 Bipolární řízení osmitaktní

Jedná se o kombinaci dvou předchozích typů řízení. Jeho výhodou je dvojnásobné zjemnění kroku motoru a pokud je motor v klidové poloze, kdy jsou aktivní dvě fáze najednou, tak i zvýšení klidového momentu. Nevýhodou je zvýšení odběru proudu a taktéž kolísání momentu. [7][8][11].

Tabulka 6: Bipolární osmitaktní řízení

Krok	1	2	3	4	5	6	7	8
A	+	+	+	0	-	-	-	0
B	+	0	-	-	-	0	+	+

3.2 Arduino

Arduino (nebo také Gendduino) je název malého počítače založeném na mikrokontroléru Atmel. Existuje od roku 2005, kdy jej poprvé představili dva Italové Massimo Banzi a David Cuartielles na výstavě Ivrea. Jejich cílem bylo vytvořit jednoduchou prototypovací platformu pro studenty, která umožní velmi rychlý vývoj i bez hlubších znalostí elektrotechniky a programování. Je nutné říci, že se jim to úspěšně povedlo. Existuje několik verzí Arduina, které se liší jak výkonem a velikostí, tak cenou. Rovněž lze koupit velký počet čínských klonů, které zaujmou především nízkou cenou v porovnání s originálním Arduinem. To je i případ desky použité v tomto projektu. [12]

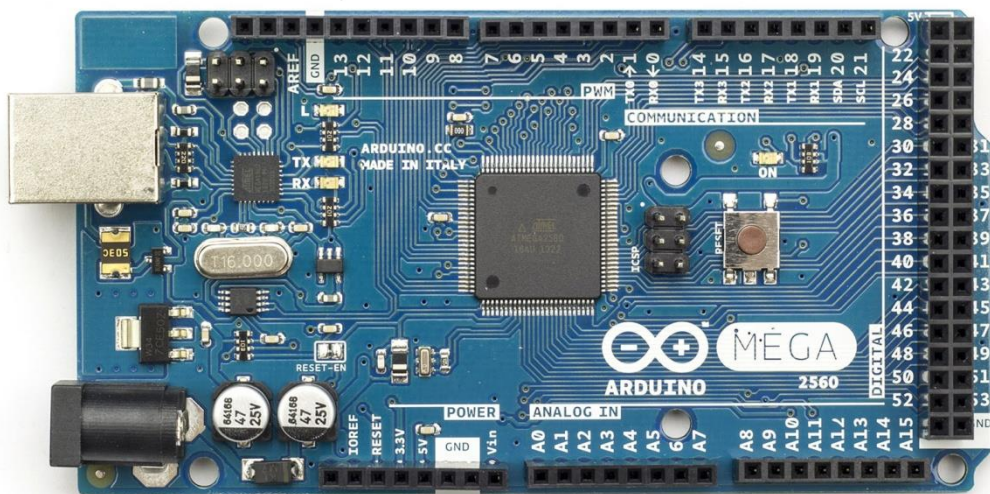
Arduina existuje několik verzí. První byla Arduino USB, která se prodávala jako deska s nezapájenými součástkami a za zmínku stojí zejména špatné provedení pinů pro připojení USB. V dalších verzích byl tento problém již vyřešen a rovněž se začala prodávat již osazená Arduina a začala být postupně vylepšována. [13].

Dále se začaly vyrábět nejrůznější další typy Arduina, jako třeba Arduino Mini a Nano, které vynikají velmi malými rozměry (několik jednotek cm) a Arduino Lilypad, které má zase velmi zajímavý kruhový design.

Verze, které stojí za to věnovat nejvíce pozornosti se jmenuje Mega, a je nejvýkonnějším kitem ze stáje Arduina. Nachází se na obrázku 3.2 2.

3.2.1 Arduino MEGA

Jedná se o desku s mikrokontrolérem ATMEL Atmega2650, která má 54 digitálních input/output pinů (z nichž 15 lze použít jako PWM výstup), 16 analogových pinů, 4 UART a 16MHZ krystalový oscilátor. [14]



Obrázek 3.2 2 Arduino MEGA. Převzato z [41]

3.3 LCD Shield

LCD je použito pro komunikaci s uživatelem. K ovládání je potřeba includovat potřebnou knihovnu. Zobrazí zadanou šířku jádra cívky a počet zadaných otočení. Má rovněž integrováno několik tlačítek, připojených na analogový pin 0. Fotografie použitého Shieldu je na obr. 3.3 1:



Obr. 3.3 1 LCD Shield. Převzato z [42]

Jeho inicializace se provede pomocí tohoto řádku kódu:

```
LiquidCrystal lcd(8, 9, 4, 5, 6, 7);  
lcd.begin(16,2);
```

První parametr prvního příkazu udává číslo pinu, který je připojen na RS pin LCD, druhý udává pin, který je připojen na enable pin LCD a další 4 piny jsou čísla datových pinů. Parametry v dalším řádku udávají počet znaků na řádku a počet samotných řádků. Tisk dat na LCD se provede přes příkaz **print()** a vymazání textu pomocí **clear()** [15][16].

```
lcd.print("ahoj"); //tisk dat na LCD
lcd.clear(); //vycistení LCD
```

3.4 Klávesnice

Jako vstupní zařízení byla použita maticová membránová klávesnice o rozměrech 4x4, která umožňuje zadávat požadovaný počet otočení a šířku jádra cívky. Její použití je pomocí odpovídající knihovny následující [17]: Nejdříve je nutno nadeklarovat její vzhled. Tlačítka # a A-D jsou použita ve funkčním vzorku pro různé módy šířky cívky a tlačítko se znakem * je použito pro potvrzení zadání šířky. Její fotografie je na 3.4 1.

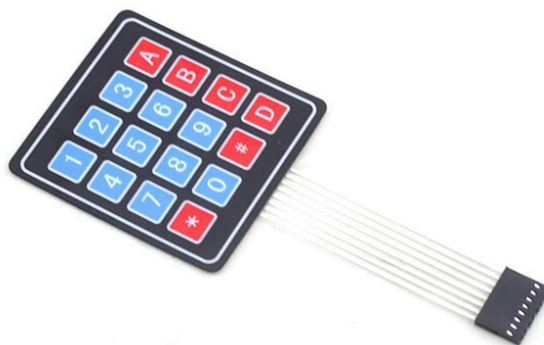
Systém ovládání se po sestavení navíječky změnil, detailně je popsán v kapitole 6.6.3.

Poslední dva řádky kódu určují, kde je klávesnice zapojena. Lze vidět, že na pinech 26-29 jsou řádky a na pinech 22-25 jsou sloupce.

```
char mykeypad[ROWS][COLS] = {
  {'1', '2', '3', 'A'},
  {'4', '5', '6', 'B'},
  {'7', '8', '9', 'C'},
  {'*', '0', '#', 'D'}
};
byte rowPins[ROWS] = {29, 28, 27, 26}; //čísla pinu radku 1-4
byte colPins[COLS] = {25, 24, 23, 22}; //čísla pinu sloupce 1-4
```

Následující řádek kódu ukazuje čtení dat z klávesnice: Po zmáčknutí klávesy uloží její hodnotu, jak je deklarována v proměnné **mykeypad[]**, do proměnné **posledniklavesa**. S tou se nadále v programu pracuje.

```
char posledniklavesa = klavesnice.getKey();
```



Obr. 3.4 1 Membránová klávesnice. Převzato z [43].

4 FUNKČNÍ VZOREK

Skládá se z 2 krokových motorů, z nichž jeden slouží k navíjení drátu a druhý slouží k posouvání drátu po jádru cívky. Dále má vstup dat (pouze počtu otočení) řešen přes klávesnici a potřebné informace se zobrazují na displeji. Footswitch v této fázi řešení ještě nebyl implementován. Stejně tak zadávání šířky jádra, které je tedy nutno měnit zásahem do kódu programu.

Byly zvoleny krokové motorky 28BYJ-48 s 512 kroky na otáčku a s driverem ULN2003. Napájecí napětí driveru se pohybuje v rozmezí 5-12V a napájecí napětí motorků činí 5V.

Základní a nejdůležitější úsek kódu představuje zřejmě otáčení samotnými krokovými motorky. To je realizováno pomocí těchto příkazů: [18]

```
void step1(){
    digitalWrite(in1, HIGH); // poslu na pin1 vysokou uroveň
    digitalWrite(in2, LOW);
    digitalWrite(in3, LOW);
    digitalWrite(in4, LOW);
    delay(spdl); //pauza podle velikosti spdl.
```

Výše zobrazený úsek kódu pošle na pin in1 vysokou úroveň napětí, čímž zajistí, že je k němu přitažen příslušný zub rotoru. Na piny in2-4 je poslána nízká úroveň. Jak vyplývá ze zdrojového kódu, motor je řízen osmitaktně a jedná se o unipolární zapojení motoru. Funkce **step2()** až **step8()** posílají vysoké úrovně zase na jiné piny podle posloupnosti popsané v Kapitole 1.4.3.

Aby došlo k otáčce o 360 stupňů, je nutno nechat tuto posloupnost příkazů (**step1()** – **step8()**) proběhnout 4096x. Realizace tohoto probíhání je v prototypu nazvána **rotace()**. Příkaz **delay()**; je na konci z toho důvodu, že motor je nucen mít určitou pauzu mezi jednotlivými změnami napětí na cívkách statoru, aby bylo dosaženo správné funkce. Minimální hodnota je 1 milisekunda.

Existují taktéž funkce **posunovani()** a **posunovani_zpet()** které zajišťují otáčení druhým krokovým motorem, který je určen k posouvání drátu po jádru cívky. Jedna točí krokovým motorem č.2 na jednu stranu a druhá zase zpět.

4.1 Hlavní funkce

Funkce s příznačným jménem **hlavni_funkce()** realizuje samotný průběh navíjení. Jsou v ní použity tři předchozí funkce **posunovani()**, **posunovani_zpet()** a **rotace()**. **Hlavni_funkce()** proběhne tolikrát, kolik otáček je nutno realizovat, kteroužto informaci získáme z klávesnice.

```

void hlavni_funkce() {
    for (hlavni_i=0; hlavni_i<512; hlavni_i++) {

        rotace();
        if (prepinac==1) {
            citac--;
            posunovani_zpet();
        }
        if (citac<=0) { prepinac=0;}
        if (prepinac==0) {
            citac++;
            posunovani();
        }
        if (citac>=sirka) { prepinac=1; }
        zpomalovani();
    }
}

```

Jak lze vidět z ukázky zdrojového kódu, funkce nejdříve pootočí motorkem o 0,7 stupně pomocí funkce **rotace()**, následně zkontroluje, jestli je proměnná **prepinac** v jedničce a pokud ano, tak dekrementuje proměnnou **citac** a zároveň otočí motorkem č.2 zpět, až do chvíle, kdy se hodnota proměnné **citac** dostane do 0 (menší než 0 je z toho důvodu, pokud by došlo k nějaké neočekávané situaci a hodnota přeskočila do záporných čísel, aniž by šla přes 0. Hodnota **prepinac** je ve funkčním vzorku defaultně nastavena na 1, nicméně měla by být nastavena dle konstrukce, podle toho je-li nutno posouvat drát nejdříve doleva nebo doprava.

Dále je v **hlavni_funkce()** volána funkce **zpomalovani()**. Ta zajišťuje zrychlování a zpomalování motoru. Obsahuje 2 cykly, jeden z nich se provede při prvním otočení a druhý při posledním. První cyklus zajišťuje zrychlení rotace motorku. Funguje tak, že každou šestnáctou iteraci proměnné **hlavni_i**, která zajišťuje v **hlavni_funkce()** otáčení motorku, dekrementujeme proměnnou **rychlost**, která udává délku pauzy mezi jednotlivými magnetizacemi fází. Druhý cyklus, který se provede při posledním otočení motorku, každou šestnáctou iteraci řídící proměnné onu **rychlost** zase inkrementuje. Tímto tedy docílíme víceméně plynulého rozběhu a zase zastavení navíjení, což by bylo důležité zejména ve chvíli, kdy šířka drátu by byla velmi malá a hrozilo by jeho přetrhnutí při okamžitém zapnutí a vypnutí.

Další funkce v prototypu nemá cenu rozebírat, neboť jsou buď velmi podobné těm v dalších verzích nebo velmi jednoduché a nepotřebují vysvětlení.

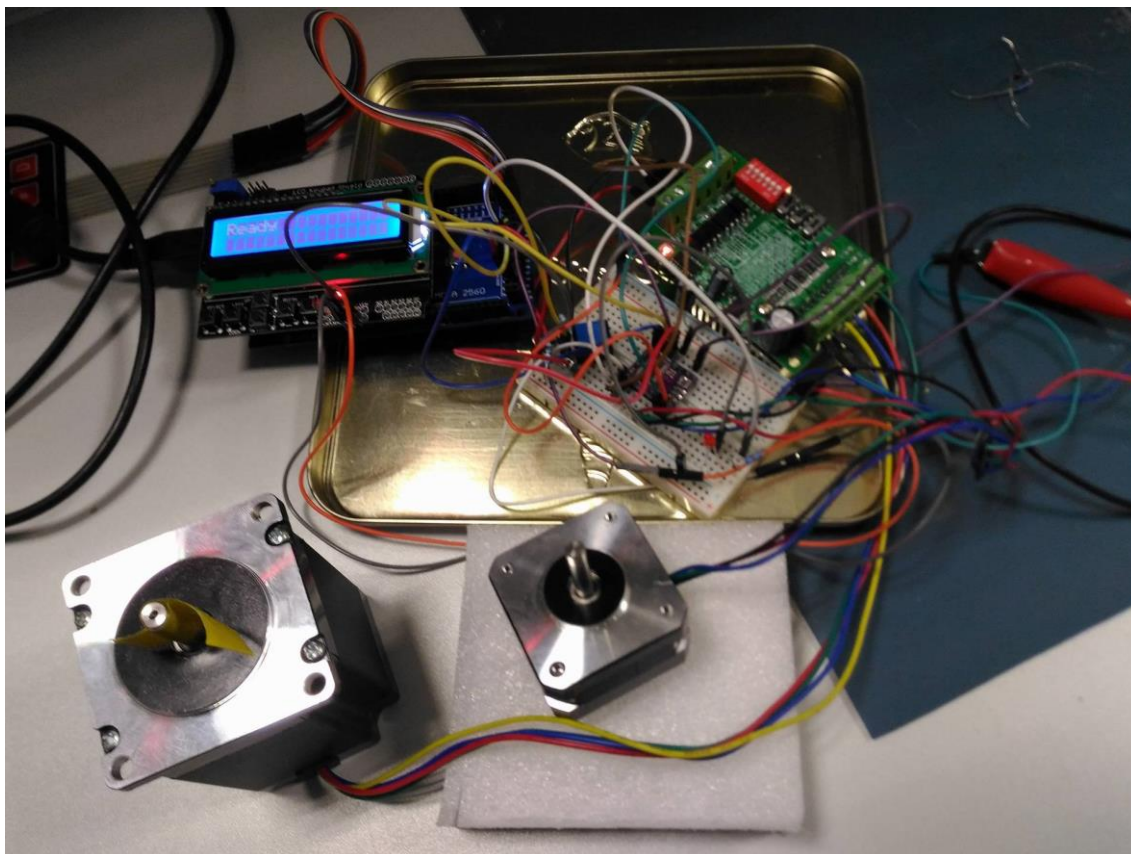
5 UPRAVENÝ FUNKČNÍ VZOREK

5.1 Změny v hardware

Po zjištění, že motorky prototypu nejsou schopny zajistit potřebný počet otáček a moment, bylo rozhodnuto, že je potřeba zakoupit silnější a rychlejší krokové motory. Byly zvoleny 2 motorky firmy LDO, z nichž silnější, typ 57STH76-2804A má moment 2,8 Nm a při v této verzi použitém driveru typu TB6560 je u něj možno dosáhnout rychlosti až 3 otáček za sekundu, což bylo shledáno jako plně dostačující. Jeho doporučený proud fáze je 2,8A, nicméně na driveru byl pomocí přepínačů zvolen proud 1,5A jako dostačující pro testovací účely. Maximální proud, který je driver schopen poskytnout je 3A a ke správné funkci potřebuje napájení 24V. Umožňuje taktéž mikrokrokování, nicméně toho není třeba použít. Krokový motor je bipolární. [19],[20]

Druhý krokový motor, učený k posunování drátu, má označení 42STH25-0404B, kdy B v tomto případě znamená, že osa je vyvedena na obou stranách. Motor má magnetizační proud fáze 0,4A. Oba krokové motorky mají 200 kroků na 1 otáčku, to znamená, že funkce **hlavni_funkce** () nebude obsahovat cyklus pro 512 průběhů, ale pouze 200. [21]

Jeho driver je čínská kopie dvr8825 navrhnutého firmou Pololu. Jedná se o přímo pro Arduino vyráběnou součástku. Maximální proud je 2,2A se zajištěním dostatečného chlazení. Je schopen taktéž mikrokrokování, a to až do úrovně 1/32. Jeho napájecí napětí (pro krokový motor, samotný driver potřebuje pro svou funkci 5V, stejně jako Arduino) se pohybuje mezi 8-45V. Proud pro motor je možné regulovat pomocí malého potenciometru, kdy napětí na něm oproti zemi je 2x menší než protékající proud. Toto ovšem bylo otestováno a platí pouze přibližně, nastavení proudu proto bylo provedeno při jeho měření multimetrem [22]. Na Obr. 5.1 je fotografie upraveného funkčního vzorku.



Obr. 5.1 Fotografie upraveného funkčního vzorku

5.2 Kód

5.2.1 Řízení krokových motorů

Použité drivery velmi zjednodušují práci s krokovými motorky oproti driverům v předchozí verzi. Je potřeba použít pouze dva piny pro každý motor. Jeden z nich je použit pro krokování a druhý pro určování směru otáčení. [20]

```
const int stepPin2 = 48;    //pin pro otaceni tociciho motoru
const int dirPin2 = 49;    //pin pro smer tociciho motoru
const int stepPin1 = 50;    //pin pro otaceni posouvaciho motoru
const int dirPin1 = 51;    //pin pro smer posouvaciho motoru
```

Princip ovládání motoru je demonstrován na funkci typu void **posunovani_zpet()** níže: Nejdříve je poslána na směrový pin motorku č.2 (posunovací) nízkou úroveň, aby bylo docíleno otáčení do požadovaného směru. Následně je nastavena na krokovací pin motoru č.1 (otáčecí) vysoká úroveň. Vzhledem k tomu, že tam předtím byla úroveň nízká, motorek se pootočí o 1 krok. To stejné je provedeno s druhým motorkem. Dále je nutno dát motorkům určitý čas na provedení otočení, což je realizováno funkcí **delayMicroseconds()**. Délka pauzy je určena proměnnou **spd**, jejíž použití již bylo popsáno v kapitole o funkčním vzorku, nicméně bude ještě zmíněno. Po pauze je na oba krokovací piny poslána nízká úroveň napětí a poté opět následuje pauza.

```

void posunovani_zpet() {
    digitalWrite(dirPin2, LOW);
    digitalWrite(stepPin1, HIGH);
    digitalWrite(stepPin2, HIGH);
    delayMicroseconds(spd);
    digitalWrite(stepPin1, LOW);
    digitalWrite(stepPin2, LOW);
    delayMicroseconds(spd);
}

```

Tato funkce se volá pouze při otáčení jedním směrem. Při otáčení druhým je zase volána zase funkce **posunovani()**, která se liší pouze ve směru otáčení posunovacího motoru. Obě tyto funkce mají poměr otáčení obou motorků 1 ku 1 (jeden pulz pro každý motor ve funkci), což je vhodné pouze pro určitou šířku drátu. Pro ostatní šířky existují další modifikace, například funkce **posunovani_1ku3**, při které je poměr, jak již napovídá název, 1 ku 3, viz kód níže:

```

void posunovani_zpet_1ku3() {
    digitalWrite(dirPin2, LOW); //smer citani
    digitalWrite(stepPin1, HIGH); //1
    digitalWrite(stepPin2, HIGH); //0
    delayMicroseconds(spd);
    digitalWrite(stepPin1, LOW);
    digitalWrite(stepPin2, LOW);
    delayMicroseconds(spd);

    digitalWrite(stepPin1, HIGH); //1
    delayMicroseconds(spd);
    digitalWrite(stepPin1, LOW);
    delayMicroseconds(spd);

    digitalWrite(stepPin1, HIGH); //1
    delayMicroseconds(spd);
    digitalWrite(stepPin1, LOW);
    delayMicroseconds(spd);
}

```

Číslo 1 v komentářích označuje krok motorku č.1. Nula označuje krok motorku č.2.

5.2.2 Hlavní algoritmus

Již byly popsány všechny důležitější obslužné funkce a nyní je nutno přejít k samotné struktuře programu.

Pokud je vypnut režim nožního spínače, tak ve funkci **loop**, která se provádí neustále, je kontrolováno, jestli byla zmáčknuta nějaká klávesa. Pokud ano, program zkontroluje pomocí série **if... else if** podmínek, jestli to byla některá ze skupiny kláves #, A, B, C, D, *. Pokud ano, provede se požadovaný úsek kódu. Zde je příklad:

```

if (posledniklavesa == '#')
{
    spd=2600;
    citac=0;
    x=200;
    y=1; //promenna pro nastaveni rychlosti
    lcd.clear();
    otoceni = atoi(zmacknuta); // ulozeni do otoceni
    for (int i=0;i<3;i++) { //vynuluje zmacknuta
        zmacknuta[i]='0';
    }
    lcd.print("nastavene ot:");
    lcd.print(otoceni);
    hlavni_funkce();
    lcd.clear();
    delay(50);
    lcd.print("navijeni dokonceno");
}

```

Program nejdříve nastaví proměnnou **x**, která slouží k zajištění toho, že se provede otočení o 360 stupňů. Určuje poměr pulzů pro otáčecí motor a pro posouvací motor. Konkrétně se to dá představit jako počet pulzů pro hlavního motor v jedné funkci **posunovani_1kuy()**, o které byla řeč výše. Ve funkci **hlavni_funkce()** je **y** rovno 1, ve funkci **hlavni_funkce_1ku4** je 4.

Následně do proměnné **otoceni** uloží hodnotu, kolikrát je nutno otočit motorkem. Poté vynuluje hodnotu proměnné **zmacknuta**, kde se ukládají hodnoty zmáčknutých kláves. Poté zavolá v cyklu funkci **hlavni_funkce()**. Poté informuje uživatele, že otáčení bylo úspěšně dokončeno a čeká na další vstup.

V sérii podmínek je taktéž podmínka pro zmáčknutí klávesy *****. Pokud se tak stane, program uloží do proměnné **sirka** šířku jádra cívk. Její velikost je 10x zvětšena oproti tomu, co bylo zadáno na klávesnici, aby bylo možné jednoduše pozorovat změny v otáčení motorku č.2

Pokud nebude splněna ani jedna z řady podmínek, tak následuje tento úsek kódu, který uloží zmáčknutou klávesu a posune ostatní předcházející.

```

else
{
    //přidej znak do pole a znaky posuň
    zmacknuta[0] = zmacknuta[1];
    zmacknuta[1] = zmacknuta[2];
    zmacknuta[2] = posledniklavesa;
}

```

Hlavni_funkce() se poněkud liší od té použité ve funkčním prototypu:

```
void hlavni_funkce() {
    for (hlavni_i=0; hlavni_i<200*otoceni; hlavni_i++) {

        if (prepinac==1) {
            citac--;
            posunovani_zpet();
        }
        if (citac<=0) { prepinac=0; citac++; }
        if (prepinac==0) {
            citac++;
            posunovani();
        }
        if (citac>=sirka+1) { prepinac=1; citac--; }
    }
    zpomalovani();
}
```

Změna je v tom, že cyklus motorek potřebuje celkem 200 pulzů k tomu, aby se otočil o 360 stupňů. Důležitý fakt je, že v rámci zrychlení programu bylo otáčení sloučeno do jednoho cyklu místo do dvou. Taktéž bylo zrušeno zobrazování zbývajících otočení, protože trvalo příliš dlouho a způsobovalo trhavý pohyb motorků, což bylo nežádoucí. Mění se taktéž maximální hodnota, kterou nabývá **hlavni_i**. Pro tuto funkci je 200, což se rovná proměnné **x**, nicméně je zde zapsána hodnotou napevno, aby se zabránilo prodlení. Pro **hlavni_funkce_1ku3** je to hodnota 67, což sice způsobovalo, že každých 200 průběhů přibyl 1 závit navíc, nicméně to bylo posléze vyřešeno.

Jistých změn seznala taktéž funkce **zpomalovani()**. Nyní není prováděna každou šestnáctou iterací, ale již pokaždé a inkrementuje/dekrementuje hodnotu **spd** o 10*y. Při defaultní hodnotě proměnné **spd** 2600 to znamená, že se tato proměnná bude pohybovat v rozsahu 2600-600.

```
void zpomalovani () {
    if (hlavni_i <=x) {
        spd=spd-10*y;
    }

    if (hlavni_i >=x*(otoceni-1) ) {
        spd=spd+10*y;
    }
}
```

Implementován byl rovněž footswitch, který zde slouží k pomalému pootočení drátu. Pokud je zapnut režim nožního spínače (určuje proměnná **mode_spinac**, kterou je zatím možno měnit pouze zásahem do kódu) tak čte hodnotu tlačítka, a pokud je zmáčknuťo, tak zavolá ořezanou funkci **hlavni_funkce()** bez cyklu proměnné **hlavni_i** s názvem **rotacyja()**. [23]

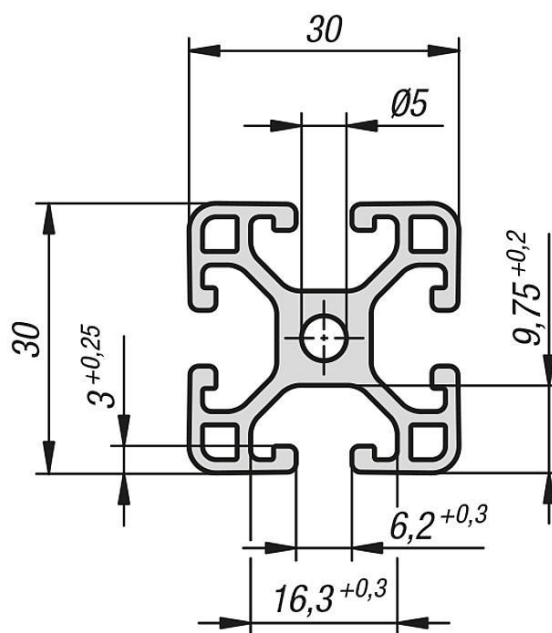
6 NAVÍJEČKA

Po průzkumu trhu a vytvoření funkčního vzorku bylo přikročeno k vytvoření samotné navíječky. Nejdříve se ujasnil její přibližný vzhled a rozměry. Poté bylo nutno vybrat vhodný materiál na stavbu, objednat jej v požadovaném množství a následně navíječku sestavit, otestovat a vyřešit veškeré problémy.

6.1 Konstrukce

6.1.1 Kostra navíječky

Pro konstrukci kostry navíječky byly vybrány jako nejvhodnější materiál hliníkové profily firmy Norelem. Podobné profily dodává na trh mnoho firem, nicméně tato firma jich nabízí široký sortiment a má rovněž zastoupení v ČR. Společnost má v nabídce nejrozličnější rozměry, od nejmenší velikosti 3x3 cm až po poněkud větší 8x8 cm. [24] Vzhledem k předpokládané velikosti navíječky a tomu, že profily neponesou příliš velkou váhu bylo rozhodnuto, že nejvhodnější rozměr je 3x3 cm, jehož průřez je vyobrazen na obr. 6.1 níže. Tento profil se prodává po délkách 1 m. Nařezání profilů proběhlo v dílně Ústavu teoretické a experimentální elektrotechniky.



Obrázek 6.1 Průřez použitým profilem. Rozměry v mm. Převzato z [24].

Velkou výhodou zvoleného konstrukčního systému je, že pro spojování profilů do nich není potřeba vrtat otvory, ale lze použít speciální spojovací prvky [25], které umožňují jednoduše spojit dva profily. Pokud je zjištěno, že spoj v daném místě je

špatně umístěn nebo nepotřebný, je možno je zase rozdělit, aniž by profily byly znehodnoceny vyvrtaným otvorem. Pevnost spoje je s ohledem na očekávané zatížení rovněž více než dostačující. Fotografie spojovacího prvku („connector“) je na obr. 6.2. a 6.3 níže.



Obr. 6.2 2 connector rozměru 3x3 cm

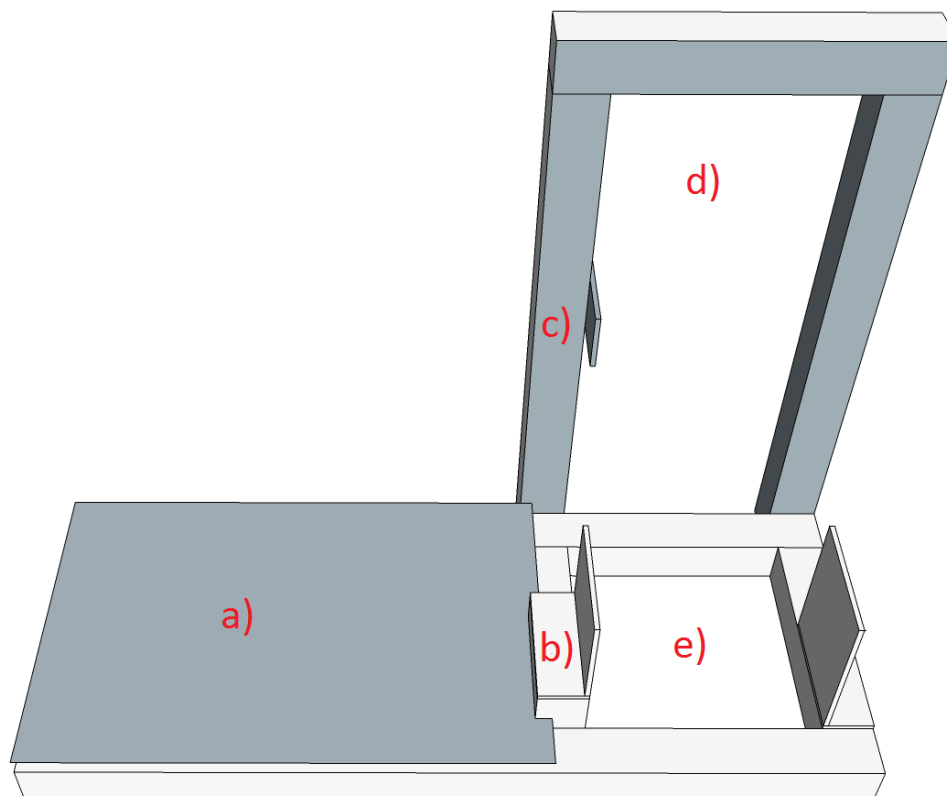


Obr. 6.3 2 connector rozměru 3x3 cm

První návrh kostry navíječky vypadal přibližně jako krychle o stranách 20cm x 20cm, s motorky připevněnými ze strany a ležící na podložce např. z dřevotřísky. To bylo vyhodnoceno jako nedostačující, proto byla konstrukce znovu promyšlena a bylo rozhodnuto, že ideální tvar je obdélník o rozměrech 50x20 cm, kdy v levé části budou

veškeré ovládací prvky, MCU, deska plošných spojů a zdroj, zatímco v pravé části budou krokové motory a cívka, ze které se bude brát drát pro navíjení. Fotografie konstrukce a její okótovaný 3D model jsou v příloze A.

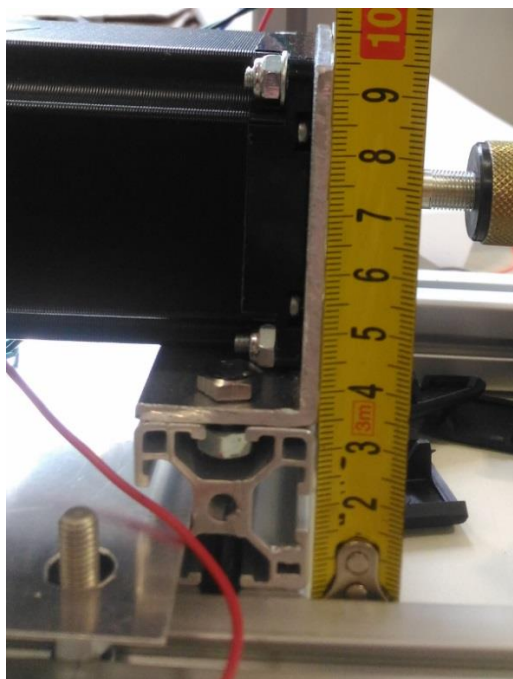
6.1.2 Jednotlivé části navíječky



Obrázek 6.1.2 1 3D model konstrukce navíječky.

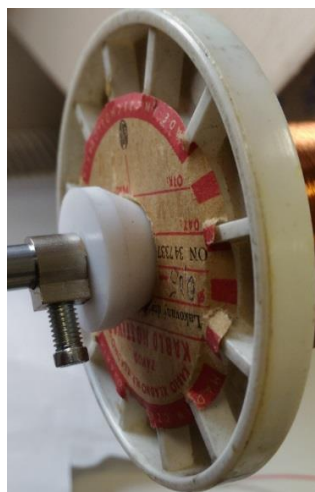
V oblasti a) je umístěn hliníkový plech, na který jsou přišroubovány dvě Arduina (změny v hardware jsou zmíněny v kapitole 6.2), maticová klávesnice, deska plošných spojů s driverem pro menší z motorků a driver pro větší motor. Plech je po stranách konstrukce připevněn na 6 distančních sloupcích velikosti M6, přibližně 1 cm nad hliníkovým profilem. Obě Arduina a klávesnice také leží na distančních sloupcích výšky přibližně 4mm. Driver pro větší krokový motor je připevněn pomocí dlouhých šroubů velikosti M3. Druhý driver je umístěn na malé DPS (příloha B). Pod hliníkovým plechem se nachází 24V zdroj, jenž je přišroubován na hliníkovém „L“ profilu k zadní části konstrukce, kde je mimo dosah uživatele, tudíž nehrozí při provozu ani nejmenší riziko dotyku a rovněž má dostatek prostoru pro dobré chlazení.

Otáčecí krokový motor je umístěn na krátkém kusu profilu stejného typu, jaký byl použit ke stavbě kostry, na kterém je přišroubován „L“ profil, k jehož delší straně je připevněn již výše zmíněný motor. Na 3D modelu zobrazeném výše se jedná o prvek d). Jeho fotografie je na Obr. 6.1.2 2.



Obrázek 6.1.2 2 Detail uchycení otáčecího krokového motorku.

Cívka, ze které se bere navíjený drát, je umístěna v oblasti d). Zde byl do dvou proti sobě stojících profilů vyvrtán otvor, kterým byla prostrčena kovová tyčka. Ta je zvenčí upevněna pomocí dvou závlaček. Na ní byly umístěny dva kužely vysoustružené z teflonu, obrácené vrcholy k sobě, které umožňují plynulou rotaci cívky drátu, při které zůstává cívka neustále na jednom místě. Kužely jsou proti posunování zajištěny kovovým vnitřkem z lámací svorkovnice. Maximální velikost cívky, kterou lze do navíječky umístit je 25 cm v průměru. Fotografie této části je na Obr. 6.1.2 3.



Obrázek 6.1.2 3 Detail teflonového kužele.

Další důležitou částí navíječky je posouvací krokový motor, který zajišťuje rovnoměrné rozprostření drátu na jádru navíjené cívky. Nachází se na kusu 3,5mm tlustého hliníkového plechu, který je přišroubován k levému vertikálnímu sloupu kostry

navíječky. V plechu je vyvrtán otvor, kterým prochází hřídel motorku, který je spojen kovovým vnitřkem z lámací svorkovnice se závitovou tyčí velikosti M5, nicméně s poměrně jemným stoupáním. Ta prochází lůžkem vysoustruženým z teflonu, které je umístěno v dalším kusu hliníkového plechu na protějším sloupu kostry. Tím je zajištěno její volné a hladké otáčení. Před závitovou tyčí je umístěna, ve dvou důlcích vyvrtaných ve výše zmíněných pleších, tenká tyč vodící. Její funkcí je umožňovat kolečku vysoustruženému z plastu s matkou uprostřed pohyb po závitové tyči. Jelikož kolečko má vysoustružený žlábek, kterým prochází drát, jenž je vinut na jádro cívky, je tímto zajištěno jeho vedení.

Poté je nutno zmínit oblast e), kde probíhá samotné navíjení. Na hřídel většího krokového motorku je pomocí dvou šroubků připevněn díl, který má na jednom konci závit, na kterém je nasazeno sklíčidlo. V něm je uchycena tyč, na které je nástavec pro navíjené jádro cívky. Fotografie je na Obr.6.1.2 4. Na protější straně je hliníkový „L“ profil s vyvrtaným otvorem, ve kterém je uloženo lůžko vysoustružené z teflonu. Lůžkem prochází krátká dutá hliníková tyčka, na jejíž levé straně je závit, na kterém je umístěno další sklíčidlo. To umožňuje, aby kostřička s jádrem cívky byla pevně uchycena a neuvolnila se vlivem otřesů.



Obrázek 6.1.2 4 Uchycení sklíčidla.

Nad oblastí d) je na vodorovném profilu umístěno napínání drátu. Jedná se o hliníkovou trubičku se závitem, kterou lze šroubovat a tím napínat a povolovat k ní připevněnou pružinku, která drží napínací rameno. To samotné je jedním koncem uloženo v hliníkové kostce, takže se může volně otáčet. Na jeho druhém konci je připevněno kolečko s drážkou, vysoustružené z teflonu, které umožňuje napínání drátu. V hliníkové kostce, ve které je uložen spodní konec ramene, byl vytvořen závit, v němž je šroubek, který omezuje napínací rameno v pohybu nahoru. Pohyb dolů mu není nijak omezen. Pokud ovšem protne určitou výšku, ukazuje to, že došlo k zaseknutí drátu na cívce a navíjení se ihned přeruší.



Obrázek 6.1.2. 4 Napínání drátu.

6.2 Změny v hardware pro navíječku

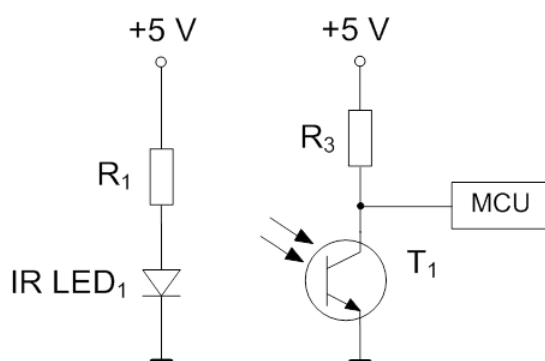
Po sestavení navíječky bylo nutno přistoupit k několika změnám v jejím hardware. Za nejdůležitější lze považovat přidání dalšího Arduina. To je z důvodu, že přibyl požadavek počítat počet otočení motoru a průběžně jej zobrazovat na LCD. Pokud bylo použito pouze jedno MCU k navíjení i ovládání displeje, byly při otáčení patrné krátké záseky, které by mohly způsobit přetržení jemného drátu. Rovněž vznikaly nepříjemné otřesy. Bylo tedy zvoleno následující řešení: Arduino č. 1 načte data zadaná z klávesnice a tlačítek, pošle je Arduino č.2, které přijaté informace zobrazí na LCD a průběžně je aktualizuje, zatímco MCU č.1 otáčí krokovými motorky. K Arduino č.1 je rovněž připojena optozávora pro detekci zaseknutí drátu. K Mikrokontroléru č.2 je připojena optozávora pro počítání otočení. Nové blokové schéma je v příloze C.

Mezi oběma Arduiny musela být zajištěna komunikace. To bylo uskutečněno pomocí UARTu s TX pinem 16 a RX pinem 17. V kódu v další části kapitoly je tato komunikace zevrubněji popsána.

6.2.1 Optozávory

Jak je zmíněno výše, navíječka byla vybavena dvěma optozávory. První z nich, OPB706B od firmy OPTEK slouží k detekci zaseknutí drátu. To rozpozná podle toho, že napínací rameno příliš poklesne, což senzor detekuje a ihned vyšle signál k zastavení navíjení a pomocí zprávy na LCD vyzve uživatele ke kontrole drátu.

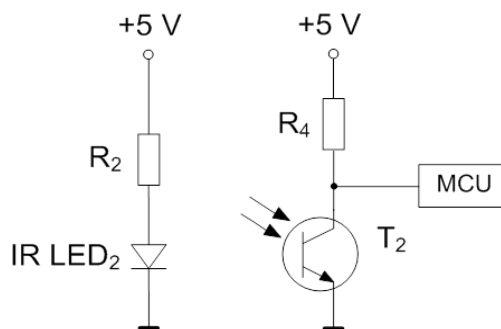
Jedná se o optozávoru s optickými prvky na horní straně pouzdra, skládající se z IR LED diody s vlnovou délkou 935nm a fototranzistoru. Reflexní vzdálenost je 1,27mm. [26] Schéma zapojení senzoru je níže na Obr. 6.2.1 1:



Obrázek 6.2.1 1 Zapojení optozávory č.1

Jak vyplývá ze schématu, pokud před optozávorou není žádný lesklý předmět, MCU registruje vysokou úroveň napětí. Pokud se ovšem před součástku dostane napínací rameno, jsou fotony vycházející z IR diody odraženy zpět do fototranzistoru, který se otevře, takže MCU detekuje úroveň nízkou.

Druhá optozávora má název TCRT1000 a výrobcem je společnost Vishay. Optické prvky se nacházejí na přední straně pouzdra. IR dioda emituje světlo o vlnové délce 950nm a ideální detekční vzdálenost je 1mm [27]. Schéma zapojení je na Obr. 6.2.1 2:



Obrázek 6.2.1 2 Zapojení optozávory č.2.

6.2.2 Tlačítka na LCD Shieldu

Druhé Arduino bylo osazeno LCD Shieldem zmíněným výše v části věnované funkčnímu vzorku. Na jeho dolním řádku je zobrazován počet navinutých závitů a na horním řádku informace o počtu zadaných otočení, šířce jádra, rozměru navíjeného drátu a chybové zprávě v případě zaseknutí drátu. Další použitý hardware z LCD Shieldu jsou 3 tlačítka s analogovým výstupem. Princip jejich funkce je následující: na napájení je připojen rezistorový napěťový dělič, který je ovládán tlačítky (v klidovém stavu jsou rozepnutá). Arduino neustále kontroluje hodnotu napětí na analogovém pinu 1. Pokud není stlačeno žádné tlačítko, je tato hodnota rovna 5V [16] (tzn. A/D převodník má na výstupu hodnotu maximální, v případě Arduina 1023). Pokud ovšem jedno z nich zmáčkne, tak senzor zaznamená novou úroveň napětí, která je opět převedena na číslo vestavěným A/D převodníkem.

Tato tlačítka byla použita k ovládání nastavování šířky jádra navíjené cívky. To bylo provedeno zejména z toho důvodu, že tento způsob se ukázal jako spolehlivější a přesnější než použití maticové klávesnice.

6.2.3 Napájecí zdroj

Aby nebylo nutno pokaždé, když padne rozhodnutí navinout si cívku hledat laboratorní napájecí zdroj a nastavovat na něm požadované napětí, byl zakoupen spínaný zdroj s výstupem 24V přímo pro navíječku. Jedná se o typ LRS-75-24. Jeho 24V se následně přes další spínaný zdroj, tentokrát firmy Murata, snižuje na 5V [28] pro napájení Arduina a driveru dvr8825. Schéma jeho zapojení bylo převzato z literatury [29].

6.3 Kód navíječky

Samotný princip navíjení se od upraveného funkčního vzorku téměř nezměnil. Nyní ale poměr otáčení není zapsán v kódu napevno, ale je počítán podle zadané šířky drátu. Rovněž byla změněna role nožního spínače. Taktéž bylo nutno zajistit vzájemnou komunikaci Arduin.

6.3.1 Hlavní algoritmus navíjení

Jak lze vidět na úseku kódu níže, hodnota proměnné **spd** byla snížena na 2350, což bude mít za následek jinou délku pauzy mezi jednotlivými kroky. Rovněž byl přidán příkaz pro zapnutí a vypnutí napájení posouvacího krokového motorku. To je z důvodu, že proud protékající fázemi vinutí vydává velmi nepříjemný vysoký zvuk, který by po delší době mohl začít snižovat komfort uživatele navíječky.

```
if (posledniklavesa == '#') {
    spd=2350;
    digitalWrite(dirPin1, HIGH);
    hilfe = 0;
    digitalWrite(enablepin, LOW); //zapneme maly krokovy motorek.
    citac=0;
    x=200; // promenna pocet kroku za 4 otacku.
    y=1; //promenna pro nastaveni rychlosti
    otoceni = atoi(zmacknuta); //zmena na integer
    for (int i=0;i<4;i++) { //ulozi do zmacknuta 4x 0,
        zmacknuta[i]='0';
    }
    poslani_druhemu_arduino(otoceni,0); //poslu info pres UART
    delay(3000);
    hlavni_funkce();
    delay(50);
}
```

Zde je ukázána upravená funkce se jménem **hlavni_funkce()**:

```
void hlavni_funkce() {
    playground = 200L*otoceni;
    for (hlavni_i=0;hlavni_i<playground;1L*hlavni_i++) {
        hilfe++;
        if (hilfe==sirka_dratu) {
            hilfe=0;
            if (prepinac==1) {
                citac--;
                posunovani_zpet_1ku2();
            }
            if (citac<=0) { prepinac=0; citac++;}
            if (prepinac==0) {
                citac++;
                posunovani_1ku2();
            }
            if (citac>=sirka+1) { prepinac=1; citac--; }
        }
        digitalWrite(stepPin1, HIGH);
        delayMicroseconds(spd);
        delayMicroseconds(spd);
        digitalWrite(stepPin1, LOW);
        delayMicroseconds(spd);
        delayMicroseconds(spd);
        zpomalovani();
    }
}
```

Existuje taktéž varianta **hlavni_funkce_pot()**;, pro případ, že uživatel si přeje regulovat rychlost pomocí nožního spínače. To nám zajišťuje příkaz **analogRead()**, kdy v závorce je číslo pinu, na který je footswitch připojen. Tato funkce nemá vestavěný automatický pomalý rozběh a zastavení, je počítáno s tím, že uživatel používá nožní spínač proto, aby mohl rychlost navíjení regulovat osobně. V době psaní této práce nebyl footswitch k dispozici, proto jeho funkci suploval potenciometr.

Proměnná **playground** je stejně jako **hlavni_i** typu **long**, a to z toho důvodu, že původně použité proměnné typu **integer** přetékaly. Další rozdíl je v tom, že nyní neexistují rozdílné hlavní funkce pro každou šířku drátu, ale šířka drátu se vypočítává. Program tedy s každou iterací řídící proměnné kontroluje, zdali se rovná proměnné s názvem **hilfe**, a pokud ano, udělá krok odpovídajícím směrem (funkce **posunovani_1ku2()** zde pouze posouvá, neobsahuje již otáčení hlavním motorem) a následně proměnnou **hilfe** vynuluje. Díky tomu můžeme posouvat podavač přesně podle šířky drátu a mít jednotlivé závitky vedle sebe.

Kolik kroků má provést menší z motorků každou otočku, to zjišťuje část kódu, která se provede po zmáčknutí tlačítka **B**. Šířka drátu se zadává v tisících milimetru:

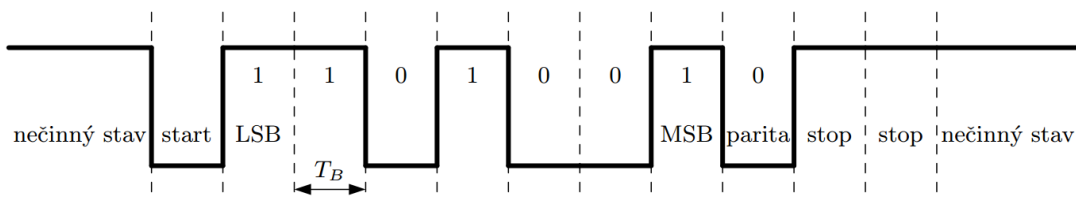
```
sirka_dratu = atoi(zmacknuta);  
pom=sirka_dratu ; //toto bude poslano UARTem  
if (sirka_dratu>500) {sirka_dratu=500;}  
sirka_dratu = ((x/10)*25)/(sirka_dratu
```

Experimentálně bylo zjištěno, že 200 kroků posouvacího motorku posune matku po závitové tyči o 0,5mm. Se znalostí této hodnoty lze lehce dopočítat, že pokud chceme navíjet drát šířky 0,1mm, tak proměnná **sirka_dratu** nabude hodnoty 5. To znamená, že každých 5 kroků navíjecího motoru následuje jeden krok motorku posouvacího a drát tedy bude pokládán jeden závit těsně vedle druhého.

6.3.2 Komunikace mezi Arduiny

Komunikace 2 Arduin je prováděna přes rozhraní UART. Ty má Arduino Mega, použité v tomto projektu, čtyři. První je použit pro komunikaci s PC přes USB a další tři jsou volně k dispozici uživateli. V tomto projektu byl použit sériový port č.2, nacházející se na pinech 16 (TX) a 17 (RX). Výhodou je, že Arduino má interní pull-up rezistory, takže není potřeba zapojovat více součástek. [14]

Název UART (Universal Asynchronous Receiver and Transmitter) označuje hardware, který umožňuje komunikaci s okolím pomocí asynchronní sériové komunikace. Slovo asynchronní znamená, že je možno začít vysílat data po sériové lince v libovolném okamžiku. S daty není, na rozdíl od synchronní komunikace, přenášena informace o časové synchronizaci. Je tedy na přijímači, aby byl schopen data vhodným způsobem a včas zpracovat. Existuje několik předem definovaných struktur, jak data mohou být posílána. Jako příklad lze uvést datový rámec 7E2, zobrazen na Obr.6.3.2 1:



Obr. 6.3.2 1 Rámec 7E2. Z literatury [30]

Nejdříve je poslán jeden start bit, který má hodnotu 0. Poté následuje několik datových bitů (zde 7, pokud by byl použit režim 8E2, tak 8 atd...) od LSB (least significant bit) po MSB (most significant bit). Následuje jeden paritní bit, v tomto případě byla zvolena sudá parita, tzn. součet všech bitů musí být sudé číslo, paritní bit je tedy 0. Nakonec jsou poslány 2 stop bity (zase podle zvoleného rámce) [30].

Další možné režimy UARTu jsou např. 8N2, kdy není zvolena žádná parita. Před komunikací je nutno rovněž zvolit přenosovou rychlost. V případě této bakalářské práce byla zvolena rychlost 9600Bd.

Zde je ukázka kódu v Master Arduino:

```
void poslani_druhemu_arduino(int www, int posilaci_prepinac) {
    char str[4];
    itoa(www, str, 10); //hodnota do array
    if (posilaci_prepinac==0) {
        Serial2.write(str); //posle string pres UART do druhého arduina
    }
    else if (posilaci_prepinac==1) {
        str[3]=str[2];
        str[2]=str[1];
        str[1]=str[0];
        str[0]='S' ;
        Serial2.write(str); }
}
```

Vstupní proměnná **www** obsahuje číslo, které chceme poslat. Proměnná **posilaci_prepinac** obsahuje číselný identifikátor toho, co se má poslat. Pokud má hodnotu 0, je poslán pouze počet otočení, pokud má hodnotu 1, je přidán jako nultý znak písmeno **S**, na které když narazí Slave Arduino, tak pozná, že má zobrazit šířku. Posílání šířky ovšem nemá valný význam, protože uživatel sám pozná, o kolik motorek posunul. Další identifikační znaky jsou **D** pro nastavenou šířku drátu a poté **X** pro situaci, kdy dojde k zaseknutí drátu. V té chvíli zobrazí Slave Arduino na LCD chybovou hlášku.

Kód Slave Arduina vypadá analogicky: Arduino nejdříve zruší znak první znak a poté ostatní znaky posune. Následně vypíše požadovanou informaci na LCD.

6.3.3 Nastavení šířky jádra

Jelikož šířka jádra cívek není vždy stejná, bylo nutno navrhnout systém, který by uživateli umožňoval ji zadat co nejpohodlněji a nejrychleji. Kód ovládání tlačítek byl použit z literatury [16] a téměř nebyl upravován.

```
else if (posledniklavesa == '*') {
    LCD_pomocna=1;      sirka=0; //
    digitalWrite(enablepin, LOW);
    while (LCD_pomocna==1) {
        lcd_key = read_LCD_buttons(); //
        switch (lcd_key)
        {
            case btnRIGHT:
            {
                digitalWrite(dirPin2, HIGH);
                digitalWrite(stepPin2, HIGH);
                digitalWrite(stepPin2, LOW);
                if (posouvaci_enable==1) {sirka--;}
                delay(1);
                break;
            }
        }
    }
}
```

Na začátku kódu jsou jako makro definovaná tlačítka (btnRIGHT atd..) a jim přiřazené hodnoty 0-5. Následně je definovaná funkce **read_LCD_buttons()**, která obsahuje sérii podmínek pro vrácení hodnoty v závislosti na velikosti hodnoty na výstupu A/D převodníku. Poté, když uživatel zmáčkne klávesu btnUP, přepne se proměnná **posouvaci_enable** a rovněž se vynuluje proměnná **sirka**, která označuje šířku jádra. Pokud je následně zmáčknuто např. tlačítko btnRIGHT, motor udělá krok v požadovaném směru a následně sníží hodnotu **sirka**.

Zadávat šířku je nutno zprava doleva, jinak algoritmus nebude správně fungovat.

6.3.4 Přerušení

Arduino Mega dovoluje několik zdrojů externích přerušení. Ty jsou na pinech 2, 3, 18, 19, 20, 21. Master Arduino užívá k detekci zaseknutí drátu interrupt na pinu č. 21. Ten bylo nejprve nutno zapnout pomocí následujícího kódu:

```
attachInterrupt(2, error_loop , FALLING)
```

error_loop je název funkce, která se v případě aktivace interruptu zavolá. Obsahuje okamžité zastavení navíjení, poté odeslání chybové zprávy Slave Arduino, jak byl zmíněno výše, a poté prázdnou nekonečnou smyčku, která se provádí až do uživatelem zadaného resetu.

6.4 Ovládání navíječky

Ovládání je velmi jednoduché. Uživatel nejdříve zvolí šířku drátu, tu zadá do klávesnice v tisícinách milimetru. Poté zmáčkne tlačítko **B**. Následně nastaví šířku jádra cívky, což provede tak, že zmáčkne na klávesnici klávesu *, čímž aktivuje posunovací krokový motorek. Dále pomocí kláves pod LCD Shieldem LEFT a RIGHT zajede s podavačem drátu na pravý okraj jádra cívky. Stlačí klávesu UP, čímž se začne počítat šířka jádra. Poté pomocí klávesy LEFT (lze se ale i samozřejmě vracet klávesou RIGHT) zajede na levý konec jádra cívky a zmáčkne klávesu SELECT. Pokud chce navíjet s automatickou kontrolou rychlosti, zmáčkne klávesu #. Pokud ovšem chce rychlost kontrolovat sám pomocí nožního spínače, stlačí klávesu D. Nyní se navíječka plynule spustí a uživatel může na LCD kontrolovat počet navinutých závitů. Až se začne blížit požadovaný počet navinutých závitů, navíječka se zase plynule zastaví (v režimu automatické kontroly rychlosti). Maximální počet navinutelných závitů je 9999. Maximální šířka drátu, která může být navíjena je 0,5mm, což je dáno mechanicky stoupáním závitové tyče. Rychlost navíjení drátu 0,1mm je přibližně 200 závitů za minutu.

7 ZÁVĚR

Cílem této práce bylo navrhnout, zkonstruovat a naprogramovat plně automatickou navíječku cívek malých rozměrů, u které stačí zadat zvolenou šířku jádra a rozměr drátu, a samotné navíjení a posun drátu realizuje sama.

V prvním stádiu bakalářské práce byl získán přehled o trhu navíječek cívek a informace ohledně jejich konstrukce, výhod a omezení a rovněž znalosti v oblasti krokových motorů a jejich řízení.

V praktické části práce byl jako první vytvořen funkční vzorek, při jehož tvorbě byly aplikovány dříve získané znalosti. Po zjištění, že zvolené krokové motorky jsou příliš slabé, bylo přistoupeno k jejich nahrazení. Rovněž bylo přidáno další Arduino nesoucí display, aby bylo možno zároveň navíjet i zobrazovat informace na LCD.

Poté byla navrhnutá, upravena a následně postavena konstrukce navíječky. Jako hlavní stavební prvek byl použit systém hliníkových profilů firmy Norelem a další hliníkové díly nejrůznějších tvarů.

Vytvořená navíječka je schopna se plynule rozeběhnout a po dosažení požadovaného počtu navinutých závitů zvolna zastavit. Rovněž umí posouvat drát, jehož sílu napínání lze regulovat, po jádru navíjené cívky tak, aby došlo k rovnoměrnému rozprostření závitů. Dále zobrazuje relevantní informace na LCD a má schopnost detekovat zaseknutí drátu používaného k navíjení. Vstup dat je řešen pomocí klávesnice a tří tlačítek pod displejem. Uživatel rovněž disponuje možností regulovat rychlost navíjení pomocí nožního spínače.

LITERATURA

- [1] Micro-Computer Controlled CNC Automatic Coil Winding Machine DS-200A. In: *Joyfair* [online]. c2008-2016 [cit. 2016-12-1]. Dostupné z: <https://www.joyfay.com/micro-computer-controlled-cnc-automatic-coil-winding-machine-ds-200a.html>
- [2] WH-800. In: *Ingrid West Machinery* [online]. c2009-2016 [cit. 2016-12-1]. Dostupné z: http://www.coilwindingmachines.eu/linear_benchtop_winding_machines/one_s_pindle_coil_winding_machine_wh800.html
- [3] WH-751. In: *Ingrid West Machinery* [online]. c2009-2016 [cit. 2016-12-1]. Dostupné z: http://www.coilwindingmachines.eu/linear_benchtop_winding_machines/one_s_pindle_coil_winding_machine_converted_to_wind_air_coils_wh751a.html
- [4] Coil Winding Machine mk1.2. In: *Ebay* [online]. c1995-2016 [cit. 2016-12-1]. Dostupné z: <http://www.ebay.co.uk/itm/cnc-coil-winder-machine-coil-winding-machine-mk1-2-made-in-uk-/151164953747>
- [5] 200mm coil winder. In: *CNCDesign* [online]. c2016 [cit. 2016-12-11]. Dostupné z: <http://www.ukcnc.net/index.php/products/200mm-coil-winder/>
- [6] Moment síly. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2016 [cit. 2016-12-1]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Moment_s%C3%ADly
- [7] NOVÁK, Petr. *Mobilní roboty: pohony, senzory, řízení*. Praha: BEN - technická literatura, 2005. ISBN 80-7300-141-1.
- [8] ŘEZÁČ, Kamil. Krokové motory. In: *Robotika.cz* [online]. 2002 [cit. 2016-11-14]. Dostupné z: <https://robotika.cz/articles/steppers/cs>
- [9] *Pohony s krokovými motorky, laboratorní návod* [online]. Ostrava: Katedra Elektroenergetiky, 2006 [cit. 2016-11-14]. Dostupné z: http://feil.vsb.cz/kat410/studium/studijni_materialy/se/cast_C_el_pohony/se_ep_h_c1_krokac_02_teorie.pdf
- [10] Krokové motory 1 - typy motorů. *Robodoupě* [online]. 2013 [cit. 2016-12-1]. Dostupné z: <http://robodoupe.cz/2013/krokovye-motory-1-typy-motoru/>
- [11] MAŇÁK, Petr. *Řízení krokového motoru pomocí platformy Arduino*. České vysoké učení technické v Praze, 2014. Bakalářská práce. České vysoké učení technické v Praze. Vedoucí práce Ing. Hlinovský Vít CSc.
- [12] Arduino. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2016-12-11]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Arduino>
- [13] Arduino Older Boards. In: *Arduino* [online]. 2016 [cit. 2016-12-11]. Dostupné z: <https://www.arduino.cc/en/Main/Boards>

- [14] Arduino MEGA 2560. In: *Arduino* [online]. 2016 [cit. 2016-12-11]. Dostupné z: <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardMega2560>
- [15] LiquidCrystal(). In: *Arduino* [online]. c2016 [cit. 2016-12-11]. Dostupné z: <https://www.arduino.cc/en/Reference/LiquidCrystalConstructor>
- [16] 1232443. Arduino LCD Keypad Shield. *Dfrobot.com* [online]. 2017 [cit. 2017-05-27]. Dostupné z: [https://www.dfrobot.com/wiki/index.php/Arduino_LCD_KeyPad_Shield_\(SKU:_DFR0009\)](https://www.dfrobot.com/wiki/index.php/Arduino_LCD_KeyPad_Shield_(SKU:_DFR0009))
- [17] Lekce 23 - Arduino a klávesnice 4x4. In: *Arduino8* [online]. 2013 [cit. 2016-12-11]. Dostupné z: <http://arduino8.webnode.cz/news/lekce-23-arduino-a-klavesnice-4x3/>
- [18] Krokový motor 28BYJ-48 a driver ULN2003. In: *Arduino návody* [online]. 2016 [cit. 2016-12-11]. Dostupné z: <http://navody.arduino-shop.cz/navody-k-produktum/krokovy-motor-a-driver.html>
- [19] 57STH Series: 57mm 1.8° High Torque Hybrid Stepping Motor. In: *Snasda* [online]. c2016 [cit. 2016-12-11]. Dostupné z: <http://www.snasda.com/doc/57STH.pdf>
- [20] IDRISPO. Coil Winding Machine mk1.2. In: *Ebay* [online]. c1995-2016 [cit. 2016-12-11]. Dostupné z: <http://www.ebay.co.uk/itm/cnc-coil-winder-machine-coil-winding-machine-mk1-2-made-in-uk-/151164953747>
- [21] Krokový motor s přírubou Nema17, 0.17Nm, Typ B. In: *4ISP* [online]. c2016 [cit. 2016-12-11]. Dostupné z: <https://cnc.inshop.cz/krokovy-motory-drivery/krokovy-motor-s-prirubou-nema17-0.17nm-typ-b>
- [22] DRV8825 Stepper Motor Driver Carrier, High Current. In: *Pololu* [online]. c2001-2016 [cit. 2016-12-11]. Dostupné z: <https://www.pololu.com/product/2133>
- [23] Button. In: *Arduino* [online]. 2015 [cit. 2016-12-11]. Dostupné z: <https://www.arduino.cc/en/Tutorial/Button>
- [24] Norelem: Aluminium profiles. In: *Norelem.com* [online]. Stuttgart, 2017 [cit. 2017-05-28]. Dostupné z: <https://www.norelem.de/de/en/Products/Product-overview/Mounting-technology/Aluminium-profiles-Connectors-Covers-Special-elements/Aluminium-profiles/Aluminium-profiles-30x30-light-Type-I.html>
- [25] Norelem: Connectors. In: *Norelem.com* [online]. Stuttgart, 2017 [cit. 2017-05-28]. Dostupné z: <http://www.norelem.de/de/en/Products/Product-overview/Mounting-technology/Aluminium-profiles-Connectors-Covers-Special-elements/Connectors/Angle-sets-Type-I.html>

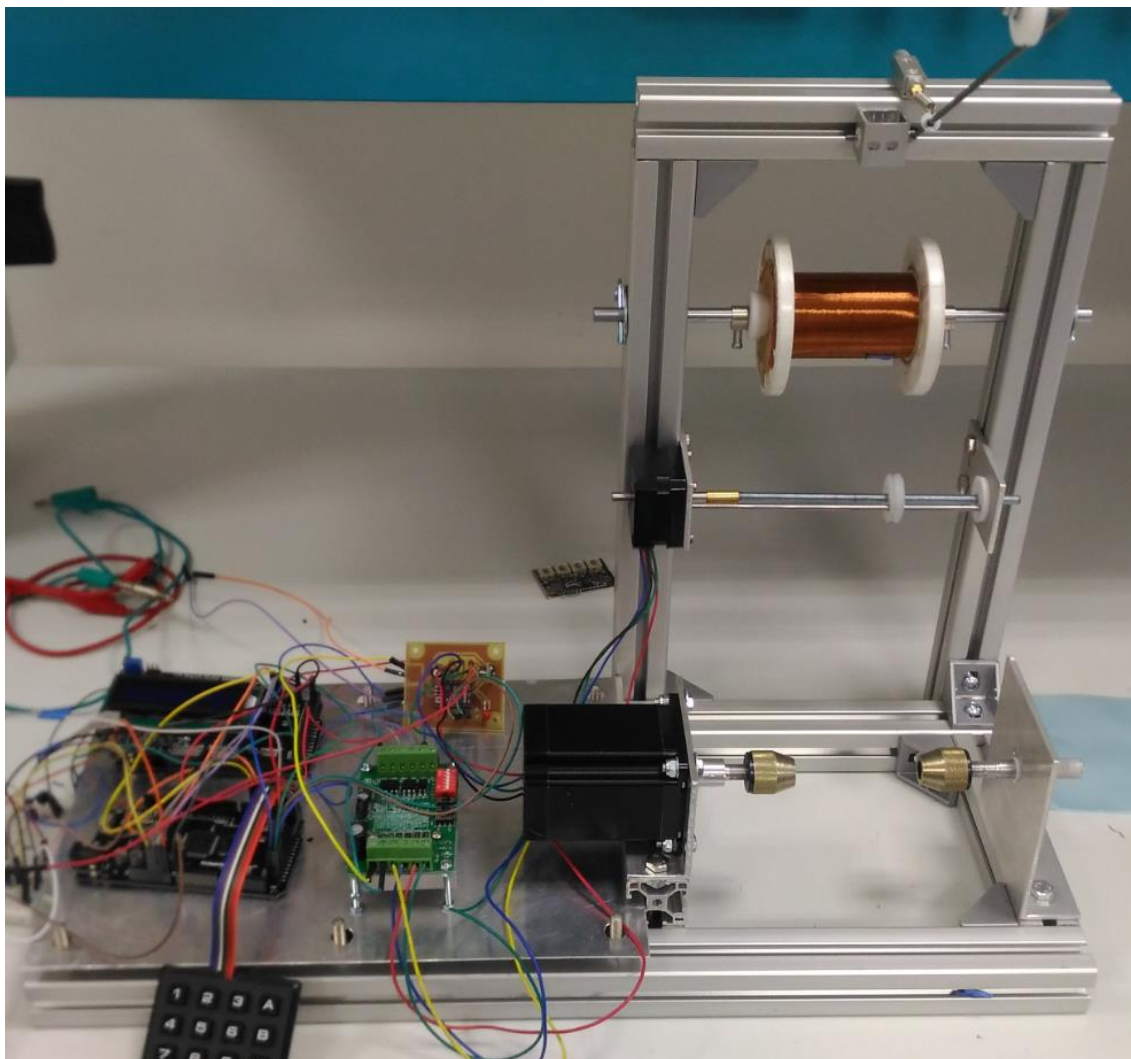
- [26] Reflective Object Sensor: OPB 706 and 707 series. In: *Www.mouser.com* [online]. Carrollton, TX, 2016 [cit. 2017-05-28]. Dostupné z: <http://www.norelem.de/de/en/Products/Product-overview/Mounting-technology/Aluminium-profiles-Connectors-Covers-Special-elements/Connectors/Angle-sets-Type-I.html>
- [27] TCRT1000 and TCRT1010. In: *Www.vishay.com* [online]. 2016 [cit. 2017-05-28]. Dostupné z: <http://www.vishay.com/docs/83752/tcrt1000.pdf>
- [28] OKI-78SR Series. In: *Farnell.com* [online]. Mansfield, MA, 2017 [cit. 2017-05-28]. Dostupné z: http://www.farnell.com/datasheets/2238403.pdf?_ga=2.159939707.733267924.1496005052-99307885.1495896581
- [29] LRS-75: 75W Single Output Switching Power Supply. In: *Mouser.com* [online]. 2017 [cit. 2017-05-28]. Dostupné z: <http://www.mouser.com/ds/2/260/LRS-75-SPEC-806318.pdf>
- [30] FRÝZA, Tomáš. *Mikroprocesorová technika a embedded systémy: počítačová cvičení*. Vyd. 2., rozš. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav radioelektroniky, 2011. ISBN 978-80-214-4350-1.]
- [31] Obrázek ve formátu JPG [Online]. Dostupné z: <https://ae01.alicdn.com/kf/HTB19e4PMFXXXXcaXXXXq6xXFXXXk/201516676/HTB19e4PMFXXXXcaXXXXq6xXFXXXk.jpg> [cit. 2016 12-11]
- [32] Obrázek ve formátu JPG [Online]. Dostupné z: https://cdn.joyfay.com/media/catalog/product/cache/1/image/e9c3970ab036de70892d86c6d221abfe/j/f/jfcwm00002-1-3_1.jpg [cit. 2016 12-11]
- [33] Obrázek ve formátu JPG [Online]. Dostupné z: <http://www.coilwindingmachines.eu/download/800.pdf> [cit. 2016 12-11]
- [34] Obrázek ve formátu JPG [Online]. Dostupné z: http://www.thonauer.com/fileadmin/_processed_/3/0/csm_single_spindle_coil_winding_machine_751_d9edac2f0d.jpg [cit. 2016 12-11]
- [35] Obrázek ve formátu JPG [Online]. Dostupné z: <http://www.cncdudez.co.uk/Frank-Small-coilwinder.jpg> [cit. 2016 12-11]
- [36] Obrázek ve formátu JPG [Online]. Dostupné z: <http://i1.wp.com/www.ukcnc.net/wp-content/uploads/2016/05/3.jpg?w=912>
- [37] Obrázek ve formátu JPG [Online]. Dostupné z: <http://www.cnczone.com/forums/attachment.php?attachmentid=70286&d=122745085> [cit. 2016 12-11]
- [38] Obrázek ve formátu JPG [Online]. Dostupné z: <http://www.cncdudez.co.uk/Frank-Small-coilwinder.jpg> [cit. 2016 12-11]
- [39] Obrázek ve formátu GIF [Online]. Dostupné z: <https://robotika.cz/articles/steppers/unipolar.gif> [cit. 2016 12-11]

- [40] Obrázek ve formátu JPG [Online]. Dostupné z <http://i.imgur.com/vDzpahq.jpg> [cit. 2016 12-11]
- [41] Obrázek ve formátu JPG [Online]. Dostupné https://www.arduino.cc/en/uploads/Main/ArduinoMega2560_R3_Front.jpg [cit. 2016 12-11]
- [42] Obrázek ve formátu JPG [Online]. Dostupné z <http://www.hobbytronics.co.uk/image/cache/data/dealextreme/arduino-lcd-keyboard-shield-500x500.jpg> [cit. 2016 12-11]
- [43] Obrázek ve formátu JPG [Online]. Dostupné z http://www.santy.cz/data/product/58_277.jpg [cit. 2016 12-11]

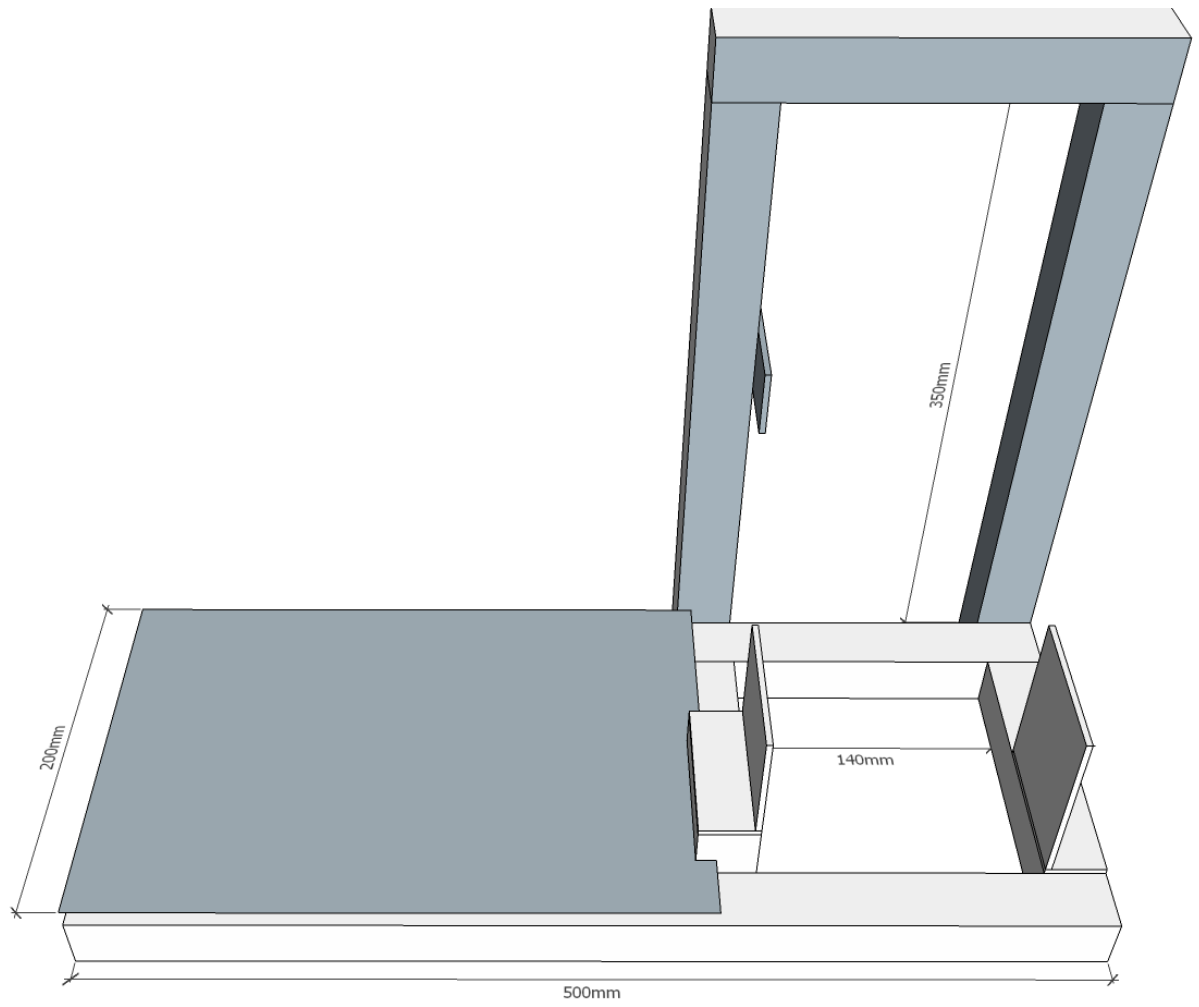
SEZNAM VELIČIN, SYMBOLŮ A ZKRATEK

<i>M</i>	moment síly
<i>F</i>	působící síla
<i>r</i>	poloměr
<i>α</i>	velikost kroku
<i>m</i>	počet fází vinutí statoru
<i>N</i>	počet zubů rotoru.
<i>LSB</i>	least significant bit
<i>MSB</i>	most significant bit
<i>A/D</i>	Analog-to-digital (převodník)
<i>RX</i>	Universal asynchronous receiver
<i>TX</i>	Universal asynchronous transmitter
<i>MCU</i>	microcontroller unit
<i>DPS</i>	deska plošných spojů
<i>UART</i>	Universal asynchronous transmitter/receiver
<i>LCD</i>	Liquid Crystal Display

A FOTOGRAFIE A 3D MODEL NAVÍJEČKY



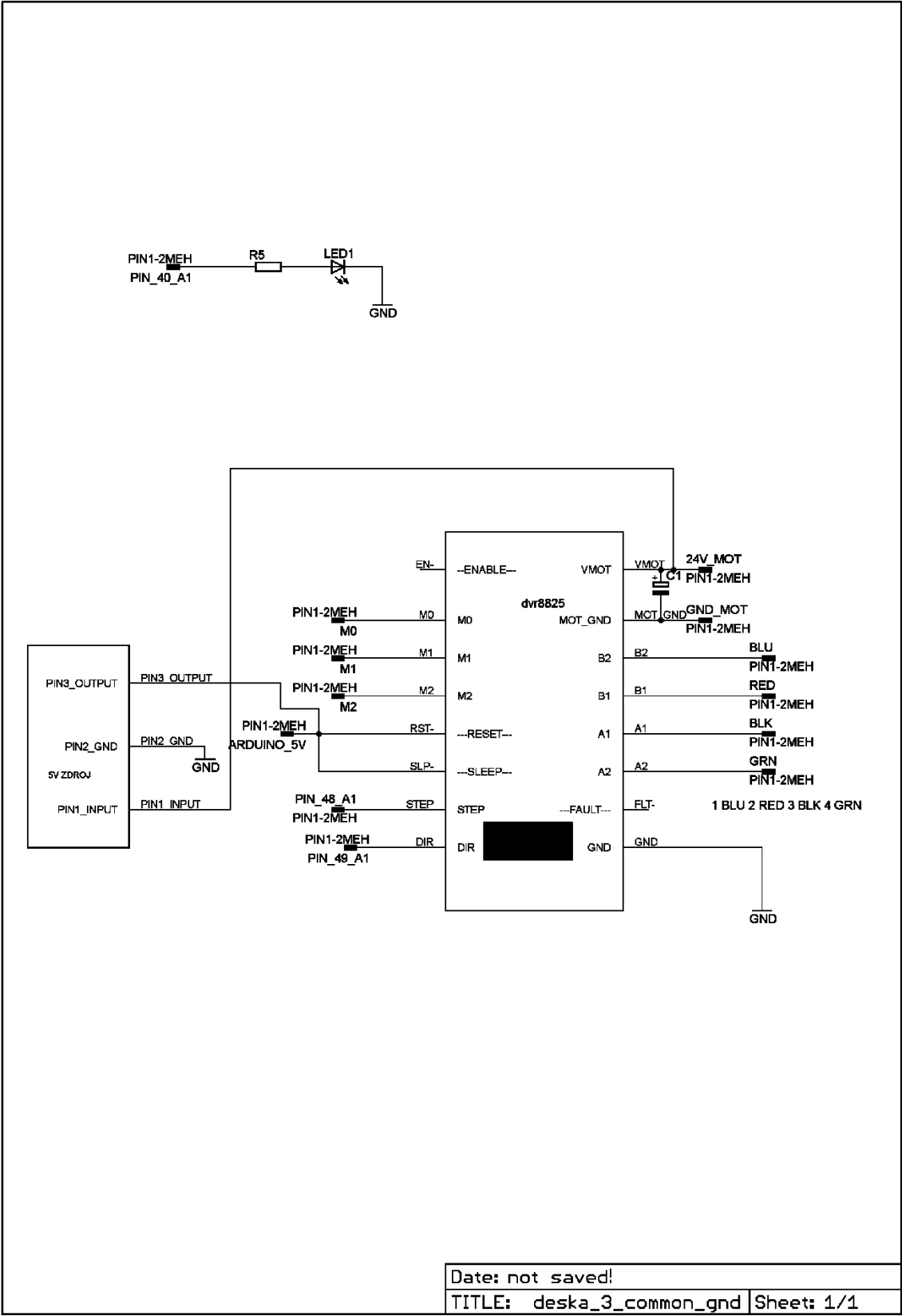
Fotografie byla pořízena před montáží součástek na hliníkový panel.



B DESKA PLOŠNÝCH SPOJŮ S DVR8825

B.1 Schéma

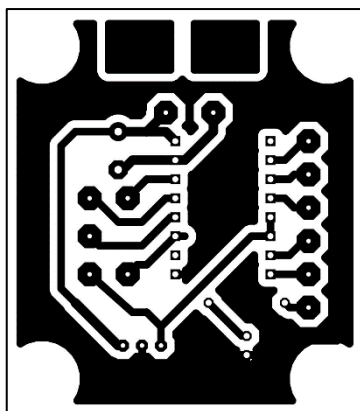
Schéma je pro lepší čitelnost umístěno na další straně. R5 a LED1 byly shledány jako nadbytečné, proto jimi deska nebyla osazena.



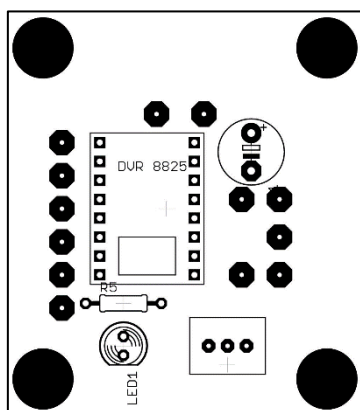
Date: not saved!

TITLE: deska_3_common_gnd Sheet: 1/1

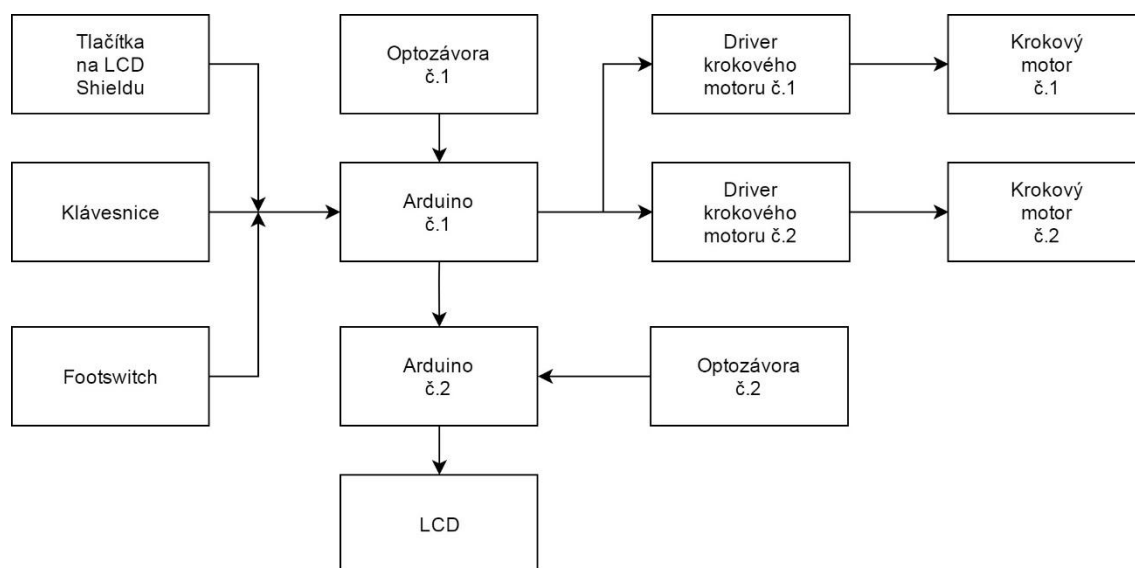
B.2 Deska plošného spoje s dvr8825 – bottom (strana součástek), mirrored, 1:1



B.3 Deska plošného spoje s dvr8825 – osazovací plán drátových součástek



C BLOKOVÉ SCHÉMA NAVÍJEČKY CÍVEK



SEZNAM SOUČÁSTEK

Množství	Hodnota	Pouzdro	Označení	Popis
1	68R	R-10	R1	Rezistor - vývodový
1	82R	R-10	R2	Rezistor - vývodový
2	4k7	R-10	R3,R4	Rezistor - vývodový
1	47u	C-2,5	C1	Kondenzátor elektrolytický - vývodový
1	-	-	Dvr8825	Driver pro krokový motor
1	-	-	Arduino LCD Shield	Arduino LCD Shield
2	-	-	Arduino Mega	Arduino Mega
1	-	-	Klávesnice	Maticová 8x8 klávesnice
1	-	-	LRS-75-24	Spínaný napájecí zdroj
1	-	SIP	5V zdroj	5V zdroj OKI-78SR-5